

TNO-rapport
99-CMC-R0011

NIEUWE CONCEPTEN VOOR EEN IMPACTBESTENDIGE SONARDOME

TNO Bouw

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for Public Release
Distribution Unlimited



19990907 041

ONGERUBRICEERD

TNO-rapport
99-CMC-R0011

NIEUWE CONCEPTEN VOOR EEN IMPACTBESTENDIGE SONARDOME

TNO Bouw

Datum
6 juli 1999

Auteur(s)
dr.ir. R.H.B. Fey
ir. G.J. Meijer

RF
LW

Centrum voor Mechanische
Constructies
Schoemakerstraat 97
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 269 69 00
Fax 015 269 53 39

Opdrachtgever : Ministerie van Defensie
Koninklijke Marine
Postbus 20702
2500 ES Den Haag
Toezichthouder : TNO Defensie Onderzoek
Rubricering : ONGERUBRICEERD
Vastgesteld door : ir. A. v.d. Made
Vastgesteld d.d. : april 1999

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Titel : ONGERUBRICEERD
Managementuittreksel : ONGERUBRICEERD
Rapporttekst : ONGERUBRICEERD
Bijlagen : ONGERUBRICEERD
Projectnummer : 006.93121/01.01
Goedgekeurd : ir. A.P. Goudswaard
Gezien : ir. G.T.M. Janssen

Aantal pagina's : 70
Aantal Bijlagen : 6

© 1999 TNO

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for Public Release

DTIC QUALITY INSPECTED 4 Distribution Unlimited

TNO Bouw verricht onderzoek en geeft advies over bouw-
vraagstukken, voornamelijk in opdracht van onder meer de
overheid, grote en kleine ondernemingen in de bouw,
toeleveringsbedrijven en branche-instellingen.



AQF99-12-2234

Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

MANAGEMENT UITTREKSEL

Titel : NIEUWE CONCEPTEN VOOR EEN IMPACTBESTENDIGE SONAR DOME

Auteurs : dr.ir. R.H.B. Fey en ir. G.J. Meijer

Datum : 2 juli 1999

Opdrachtnr. : A98/KM/127

Rapportnr. : 99-CMC-R0011

Aanleiding voor het onderzoek

In het verleden zijn de sonar domes van de S-fregatten gemaakt van staal. Over een periode van meer dan 15 jaren zijn er schadegevallen geweest aan de stalen domes. Dit heeft echter nooit geleid tot disfunctioneren van de sonar. Vanwege kosten, corrosieproblemen en de betere transmissie-eigenschappen zijn de domes van de M-fregatten gemaakt van composiet. Tot op heden is door impact één van de composieten sonar domes verloren gegaan en heeft één composieten dome zware schade opgelopen.

Doel van het onderzoek

Uit numerieke analyses is gebleken dat de impactbestendigheid van een bestaande stalen sonar dome duidelijk hoger was ten opzichte van een bestaande composieten dome, zie [1] en [2]. In dit rapport zal nagegaan worden is of een vooraf vastgesteld (hoog) impactcriterium van 30 kJ, waarbij de dome beschadigd mag worden doch de sonar behouden dient te blijven, haalbaar is. Tevens zullen mogelijkheden worden onderzocht om tegemoet te komen aan een (laag) impactcriterium van 3 kJ, waarbij de akoestische eigenschappen van de sonar behouden dienen te blijven. Een korte termijn oplossing is zeer gewenst.

Korte omschrijving van het onderzoek

Uitgangspunt vormde een breed opgezette brainstormsessie met deskundigen op diverse gebieden. Uit een veelheid aan ideeën zijn twee concepten die het meest veelbelovend waren met betrekking tot gestelde eisen en randvoorwaarden nader uitgewerkt: 1) modificatie van de bestaande composieten dome en 2) de zogenaamde 'haaienbek' variant, waarbij de dome van staal wordt gemaakt en het venster van composiet. Bezoeken zijn gebracht aan drie mogelijke producenten van de nieuwe dome: Fokker Special Products, het Polymarin en Conyplex. In het verleden zijn door de KM ook Starline, NKI en Polyproducts bezocht.

Conclusies

Uit eindige-elementenberekeningen blijkt dat een korte termijn oplossing wordt bereikt door de koolstoflagen en eventueel de CSM matten in het bestaande laminaat te vervangen door E-glas weefsels (E: woven roving). De impactbestendigheid van het laminaat wordt hierdoor met 60%

verhoogd van 22 kJ (indringdiepte 0.45 m) naar minimaal 35 kJ (indringdiepte 0.8 m), hetgeen te danken is aan de hogere specifieke energie voor het glasweefsel (de sterkte is weliswaar lager maar de breukrek hoger ten opzichte van de koolstofmat). Het hoge impactcriterium van 30 kJ wordt hiermee gehaald. Het opbrengen van een rubber laag aan de buitenzijde van het laminaat heeft een positief effect op het halen van de 3 kJ eis en daarmee op het behoud van de akoestische eigenschappen bij een lage impact.

Managementuittreksel.....	2
1. Introductie	5
2. Modificatie bestaande dome	7
2.1 Introductie.....	7
2.2 Definitie berekeningen; modelvorming.....	7
2.3 Resultaten	8
3. Het effect van een rubberlaag bij lage impact	13
3.1 Inleiding.....	13
3.2 Definitie berekeningen; modelvorming.....	13
3.3 Resultaten	15
3.3.1 Impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm)	15
3.3.2 Impact op een E-glas woven roving laminaat (17 mm) bekleed met rubber 1 (5 mm)	15
3.3.3 Impact op een E-glas woven roving laminaat (17 mm) bekleed met rubber 2 (5 mm)	16
3.3.4 Nauwkeurigheid.....	16
4. Werkbezoeken aan mogelijke producenten	17
5. Voorstellen voor beproevingen.....	18
6. Conclusies en aanbevelingen	19
Referenties	20
Appendix A.....	21
Appendix B	33
Appendix C	38
Appendix D.....	41
Appendix E	44
Appendix F.....	48
Figuren	52

1. Introductie

In het verleden zijn de sonar domes van de S-fregatten gemaakt van staal. Over een periode van meer dan 15 jaren zijn er schadegevallen geweest aan de stalen domes, maar die hebben nooit geleid tot disfunctioneren van de sonar. Uit overwegingen ten aanzien van corrosie, kosten en akoestische eigenschappen zijn de domes van de M-fregatten gemaakt van composiet. Tot op heden is één van de composieten sonar domes verloren gegaan, terwijl er ook één door impact zware schade heeft opgelopen.

Uit numerieke analyses is gebleken dat de impactbestendigheid van de bestaande stalen sonar dome (opgenomen energie is 55 kJ bij een indringdiepte van 0.3 m) duidelijk hoger was ten opzichte van de bestaande composieten dome (opgenomen energie is 22 kJ bij een indringdiepte van 0.45 m), zie [1] en [2].

Met deze gegevens als uitgangspunt is op 18 juni 1998 een brainstormsessie georganiseerd bij het Centrum voor Mechanische Constructies van TNO in Delft om oplossingen te genereren voor een nieuwe, verbeterde dome. Appendix A geeft een verslag van deze brainstormsessie en een eerste uitwerking ervan.

De probleemstelling die tijdens de brainstormsessie werd geformuleerd luidt als volgt:

Het huidige (composiet) sonardome-ontwerp dient verbeterd te worden met betrekking tot de impactbestendigheid onder behoud van de bestaande akoestische eigenschappen.

Vervolgens zijn eisen en randvoorwaarden geformuleerd waaraan mogelijke oplossingen moeten voldoen. In het kort hebben we te maken met de volgende eisen en randvoorwaarden:

1. Een korte termijn oplossing is gewenst
2. Akoestische eisen
3. Mechanische eisen met betrekking tot impact. Een 'hoge' impact eis en een 'lage' impact eis zijn geformuleerd. De 'hoge' impact eis houdt in dat de maximale impact energie waarbij de sonar behouden dient te blijven en de dome dus nog afdoende bescherming biedt gelijk is aan 30 kJ. De 'lage' impact eis houdt in dat de akoestische eisen van de sonar dome behouden moeten blijven bij een impactenergie van 3 kJ.
4. Eisen met betrekking tot hydrostatische en hydrodynamische belastingen
5. Productie-eisen
6. Lage kostprijs
7. Eisen met betrekking tot onderhoud, reparatie en inspectie.

8. De dome moet op zowel het M-fregat als op het LCF-fregat kunnen worden toegepast.

Uit de brainstorm kwamen 41 (deel)oplossingen naar voren. In de eerste uitwerking van de brainstormsessie zijn deze (deel)oplossingen getoetst aan de eisen en randvoorwaarden. De 41 (deel)oplossingen zijn gegroepeerd in 7 hoofdconcepten. Voor ieder van deze 7 hoofdconcepten is nagegaan welke issues en acties een rol spelen bij verdere ontwikkeling. Op basis hiervan zijn 2 voorstellen met varianten voor verdere ontwikkeling uitgekozen:

1. aanpassing bestaande composieten dome
2. dome uitvoeren als een stalen haaienbek met een akoestisch venster van hetzij composiet, hetzij vezelversterkte thermoplast, hetzij staal

Omdat optie 1 duidelijk een korte termijn en daarmee een aantrekkelijke oplossing is, wordt in het volgende hoofdstuk door middel van eindige-elementenberekeningen nagegaan in hoeverre de impactbestendigheid (hoge impact eis) verhoogd kan worden door aanpassing van de bestaande composieten dome.

In hoofdstuk 3 wordt vervolgens eveneens door middel van eindige-elementenberekeningen geanalyseerd in hoeverre beter voldaan kan worden aan de lage impact eis door het aanbrengen van een rubberlaag aan de buitenzijde van het laminaat.

Optie 2 is een oplossing voor de wat langere termijn, omdat ten opzichte van optie 1 een aantal extra werkzaamheden nodig zijn. Zo moet o.a. goed nagedacht worden over de constructieve uitvoering van de bevestiging tussen het venster en de haaienbek. Appendix B geeft een aantal stijfheid en sterkte beschouwingen voor een dome met een stalen haaienbek en een thermoplastisch venster.

Hoofdstuk 4 geeft een korte beschrijving van werkbezoeken die TNO samen met de Koninklijke Marine heeft gebracht aan mogelijke producenten van de nieuwe dome.

Hoofdstuk 5 beschrijft voorstellen voor experimentele beproevingen (op impact, op akoestische en op materiaaleigenschappen) van composieten proefplaten. Deze voorstellen zijn voornamelijk gebaseerd op de uitkomst van de numerieke analyses van hoofdstuk 2.

Het laatste hoofdstuk besluit dit rapport met conclusies en aanbevelingen.

2. Modificatie bestaande dome

2.1 Introductie

Tijdens de brainstormsessie is een 'hoge' impact eis geformuleerd. Deze houdt in dat de dome een impact van 30 kJ moet kunnen opvangen zonder dat de sonar beschadigd raakt. Het vaartuig kan dan terugvaren naar de haven voor reparatie. Om tot een hogere impactbestendigheid te komen (30 kJ eis) wordt in eerste instantie gedacht aan het modificeren van de bestaande composieten dome omdat dit een korte termijn oplossing is. Opties ter modificatie van de bestaande dome zijn:

1. Het wijzigen van de materialen in het bestaande laminaat
2. Het wijzigen van de opbouw van het bestaande laminaat (oriëntatie van de vezelrichtingen)
3. Het wijzigen van de dikte van het laminaat

2.2 Definitie berekeningen; modelvorming

Omdat bekend is dat:

1. de breukrek van de koolstof-harslaag (0.7 %) veel lager is dan de breukrek van de laag E-glas woven roving (1.7 %) en daarmee de specifieke energie ($=E\varepsilon^2/2$) van de koolstof-harslaag (950 kJ/m³) lager is dan die van de laag E-glas woven roving (2170 kJ/m³)
2. de koolstoflagen in het vensterlaminaat van de bestaande dome zich aan de buitenzijde bevinden terwijl er sprake is van een gecombineerde belasting (membraan en buiging)

is besloten om een tweetal eindige-elementenberekeningen met het pakket DYNA-3D ([3], [4]) uit te voeren die volledig vergelijkbaar zijn met de impactberekening die is uitgevoerd voor de bestaande composieten dome, zie [2], maar met een andere keuze voor de materialen in het vensterlaminaat. Tabel 1 toont het oorspronkelijke vensterlaminaat uit [2]. Tabel 2 toont variant 1 waarbij zowel de koolstof als de chopped strand mat (csm) vervangen zijn door E-glas woven roving (wr). Tabel 3 toont variant 2 waarbij ten opzichte van Tabel 1 alleen de koolstof is vervangen door E-glas woven roving. Wellicht is variant 2 productietechnisch gezien beter te realiseren dan variant 1.

De materiaaleigenschappen van de diverse lagen worden gegeven in Tabel 4 (overgenomen uit [2]).

2.3 Resultaten

Figuur 1 toont de externe energie en de daarmee samenhangende kracht in de richting van impact als functie van de indringdiepte voor de drie verschillende samenstellingen van de vensterlaminaten zoals gegeven in Tabellen 1-3.

Ten eerste zien we dat de maximale externe energie die variant 1 (44 kJ, in rood) en variant 2 (35 kJ, in blauw) op kunnen nemen aanzienlijk hoger is vergeleken met het oorspronkelijke laminaat (22 kJ, in zwart); merk op dat beide varianten voldoen aan de 30 kJ eis.

Ten tweede blijkt uit Figuur 1 dat de indringdiepte bij maximale externe energie voor de beide varianten ongeveer gelijk is (0.8 m) en een stuk groter dan bij het oorspronkelijk laminaat (0.45 m). Merk op dat de hogere energieabsorptie voor variant 2 ten opzichte van het oorspronkelijke laminaat wordt gehaald na een indringdiepte van 0.4 m. Voor variant 1 geldt dat al vanaf een indringdiepte van 0.15 m, maar de grootste winst wordt eveneens geboekt na een indringdiepte van 0.4 m.

Ten derde blijkt uit het verloop van de krachtsignalen dat het oorspronkelijk laminaat initieel het stijfste is, gevolgd door variant 1; variant 2 blijkt initieel het slapste te zijn.

Deze bevindingen zijn in overeenstemming te brengen met de bovengenoemde gegevens over de faalrekken en met de elasticiteitsmoduli van de betrokken materiaallagen ($E_{\text{koolstof+hars}} = 45 \text{ GN/m}^2$, $E_{\text{glas woven roving}} = 15 \text{ GN/m}^2$, $E_{\text{csm}} = 8 \text{ GN/m}^2$)

Laag nr.	Materiaal	Dikte [mm]
1	esm 225	0.49
2	esm 225	0.49
3	carbon 630	1.02
4	esm 225	0.49
5	carbon 630	1.02
6	esm 225	0.49
7	carbon 630	1.02
8	esm 225	0.49
9	esm 450	0.98
10	woven roving 830	1.02
11	esm 450	0.98
12	woven roving 830	1.02
13	esm 450	0.98
14	woven roving 830	1.02
15	esm 225	0.49
16	carbon 630	1.02
17	esm 225	0.49
18	carbon 630	1.02
19	esm 225	0.49
20	carbon 630	1.02
21	esm 225	0.49
22	esm 225	0.49

Tabel 1 Oorspronkelijk vensterlaminaat (totale dikte 17 mm): koolstof, glas (woven roving) en esm

Laag nr.	Materiaal	Dikte [mm]
1	woven roving 830	0.49
2	woven roving 830	0.49
3	woven roving 830	1.02
4	woven roving 830	0.49
5	woven roving 830	1.02
6	woven roving 830	0.49
7	woven roving 830	1.02
8	woven roving 830	0.49
9	woven roving 830	0.98
10	woven roving 830	1.02
11	woven roving 830	0.98
12	woven roving 830	1.02
13	woven roving 830	0.98
14	woven roving 830	1.02
15	woven roving 830	0.49
16	woven roving 830	1.02
17	woven roving 830	0.49
18	woven roving 830	1.02
19	woven roving 830	0.49
20	woven roving 830	1.02
21	woven roving 830	0.49
22	woven roving 830	0.49

Tabel 2 Vensterlaminaat variant 1 (totale dikte 17 mm): glas (woven roving)

Layer no.	Material	Thickness [mm]
1	csm 225	0.49
2	csm 225	0.49
3	woven roving 830	1.02
4	csm 225	0.49
5	woven roving 830	1.02
6	csm 225	0.49
7	woven roving 830	1.02
8	csm 225	0.49
9	csm 450	0.98
10	woven roving 830	1.02
11	csm 450	0.98
12	woven roving 830	1.02
13	csm 450	0.98
14	woven roving 830	1.02
15	csm 225	0.49
16	woven roving 830	1.02
17	csm 225	0.49
18	woven roving 830	1.02
19	csm 225	0.49
20	woven roving 830	1.02
21	csm 225	0.49
22	csm 225	0.49

Tabel 3 Vensterlaminaat variant 2 (totale dikte 17 mm): glas (woven roving) + csm

Vensterlaminaat	carbon 630 + resin	glass fibre woven roving 830 + resin	esm 225 + resin	esm 450 + resin
E_1 [GPa] (elasticiteitsmodulus)	45	15	8	8
E_2 [GPa]	$= E_1$	$= E_1$	$= E_1$	$= E_1$
E_3 [GPa]	5.2	5.2	4.7	4.7
ν_{21} [-] (dwarscontractie)	0.0047	0.097	0.30	0.30
ν_{31} [-] ²	0.36	0.36	0.36	0.36
ν_{32} [-] ²	$= \nu_{31}$	$= \nu_{31}$	$= \nu_{31}$	$= \nu_{31}$
G_{12} [GPa] (afschuifmodulus)	2.66	2.14	3	3
G_{23} [GPa]	1.8	1.8	1.4	1.4
G_{31} [GPa]	$= G_{23}$	$= G_{23}$	$= G_{23}$	$= G_{23}$
S_{1t} [MPa] (treksterkte)	300	260	100	100
ϵ_{1t} [-] (% faalrek)	0.65	1.7	1.25	1.25
S_{1c} [MPa] (druksterkte)	300	260	100	100
S_{2t} [MPa]	$= S_{1t}$	$= S_{1t}$	$= S_{1t}$	$= S_{1t}$
ϵ_{2t} [-] (% faalrek)	$= \epsilon_{1t}$	$= \epsilon_{1t}$	$= \epsilon_{1t}$	$= \epsilon_{1t}$
S_{2c} [MPa]	$= S_{1c}$	$= S_{1c}$	$= S_{1c}$	$= S_{1c}$
S_{12} [MPa] (in-plane afschuifsterkte)	100	80	75	75
volume fractie vezels [-]	0.35	0.32	0.18	0.18
laagdikte [mm]	1.02	1.02	0.49	0.98
massadichtheid [kg/m ³]	1500 ¹	1500 ¹	1500	1500

Tabel 4 Materiaaleigenschappen van het vensterlaminaat (17 mm), uit [2].¹ De werkelijke massadichtheid voor de koolstof laag en de woven roving laag zijn respectievelijk 1360 and 1600 kg/m³, maar in Dyna3D kan slechts 1 massadichtheid voor het gehele laminaat worden opgegeven. Dit heeft weinig effect indien buigtrillingen relatief onbelangrijk zijn.² Deze waarden representeren feitelijk ν_{13} en ν_{23} . Aanvullende analyses met lagere waarden voor ν_{31} en ν_{32} vertoonden kleine verschillen ondanks het feit dat deze dwarscontracties irrelevant zijn voor schaalementen.

3. Het effect van een rubberlaag bij lage impact

3.1 Inleiding

Tijdens de brainstormsessie is een 'lage' impact eis geformuleerd. Deze houdt in dat de dome een impact van 3 kJ moet kunnen opvangen onder behoud van de akoestische eigenschappen van de sonar. Met andere woorden: de functionaliteit van de sonar moet gewaarborgd blijven. In feite betekent dit dat bij een kruisvaart van 20 knopen een drijvende massa van 60 kg geraakt mag worden.

In [2] is geconstateerd dat vrijwel direct na het moment van impact schade optreedt aan de buitenzijde van het composieten laminaat, waardoor de akoestische eigenschappen van de sonar achteruit kunnen gaan.

Om aan de lage impact eis tegemoet te komen is het idee gerezen om de buitenzijde van de dome te bekleden met een laag natuurrubber (vrijwel onsamendrukbaar) om lokale piekspanningen te verminderen. De hechting zou door vulkaniseren gerealiseerd kunnen worden. Bovendien is natuurrubber redelijk bestand tegen zout water milieu.

3.2 Definitie berekeningen; modelvorming

Er zijn met LS-DYNA3D ([5], [6]) een drietal verkennende 2D berekeningen uitgevoerd. Bij deze berekeningen gaat de aandacht uit naar het effect van een rubberlaag van 5 mm op de interlaminaire trek-druk spanningen en interlaminaire afschuifspanningen bij initieel contact. De drie berekeningen die zijn uitgevoerd zijn:

1. impact op een E-glas woven roving laminaat met een dikte van 17 mm (dit is in het model in de richting van de Y-as). Het gebruikte materiaalmodel is een orthotroop, elastisch materiaalmodel (zonder falen). Voor de materiaaleigenschappen wordt verwezen naar Tabel 4.
2. impact op een E-glas woven roving laminaat van 17 mm (zie berekening 1) die aan de impactzijde is bedekt door een laag natuurrubber (nr. 1) van 5 mm. Het gebruikte materiaalmodel voor het rubber is het twee parameter Mooney-Rivlin model, hetgeen hieronder kort beschreven wordt. Voor de eigenschappen van het gebruikte rubber wordt verwezen naar Tabel 5.
3. idem als berekening 2, alleen met een natuurrubber (nr. 2) met andere eigenschappen, zie Tabel 5.

De rek-energiedichtheidsfunctie van het Mooney-Rivlin model, zie [4], is:

$$W = A(I - 3) + B(II - 3) + C(III^{-2} - 1) + D(III - 1)^2$$

met:

$$C = 0.5A + B$$

$$D = \frac{A(5\nu - 2) + B(11\nu - 5)}{2(1 - 2\nu)}$$

en waarbij I, II en III de invarianten zijn van de rechter Cauchy-Green tensor. De afschuifmodulus (lineaire elasticiteitstheorie) is gelijk aan:

$$G = 2(A + B)$$

	Natuurrubber 1	Natuurrubber 2
Mooney Rivlin constante A [Pa], zie [7]	1.7 10 ⁵	3.0 10 ⁵
Mooney Rivlin constante B [Pa], zie [7]	1.0 10 ⁵	1.0 10 ⁵
dwarscontractie ν [-]	0.499	0.499
dichtheid ρ [kg/m ³]	930	930

Tabel 5 Materiaaleigenschappen van twee natuurrubbers

Figuur 2 toont de beginsituatie van berekening 2 en 3. De gebruikte elementen zijn volume-elementen (bricks); er ligt 1 element in de richting van de Z-as met een dikte van 2 mm. Het vlak $X=0$ is een symmetrievlak (de linkerzijde van de constructie in Figuur 2). Voor de knopen gelegen in het symmetrievlak zijn de verplaatsingen in de richting van de X-as en de Z-as onderdrukt. Voor de twee knopen (met alleen een verschillende Z coördinaat) rechtsbeneden in de te treffen plaat geldt dat de verplaatsingen in de richting van de Y-as en de Z-as zijn onderdrukt. Voor alle resterende knopen geldt dat de verplaatsing in de richting van de Z-as is onderdrukt (plain strain).

De impactor is oneindig stijf en is vanwege symmetrie een halve cilinder met een straal van 0.2 m (gelijk aan de straal van de impactor in de 3D berekeningen van [1] en [2], waarbij de impactor een bol was) en met een lengte van 2 mm. De beginsnelheid van de impactor is 10 m/s in de richting van de negatieve Y-as. De dichtheid van de impactor is 1790 kg/m³. Deze waarde is als volgt tot stand gekomen. Uitgaande van een energie inhoud van de impactor van 3 kJ en bovengenoemde beginsnelheid zou de massa van de impactor gelijk moeten zijn aan 60 kg. Uitgaande van een volume van 33.5 10⁻³ m³ (dit is het volume van een bol met een straal van 0.2 m) wordt dan de dichtheid 1790 kg/m³. Het volume van een halve cilinder met een straal van 0.2 m en een lengte van 2 mm is 125 10⁻⁶ m. Dit betekent dat alle geïmprementeerde energieën

en krachten vermenigvuldigd moeten worden met een factor 268 om te komen tot realistische waarden.

De initiële minimale afstand tussen impactor en de te treffen plaat is 1 mm. De lengte van de te treffen plaat in Figuur 2 is 0.5 m (dit is in de richting van de X-as). De minimale afstand tussen 2 knopen in het XY vlak is 2 mm.

3.3 Resultaten

3.3.1 Impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm)

Figuur 3-Figuur 5 (A: impactor, B: woven roving) tonen respectievelijk de kinetische, interne en de hourglass energie als functie van de tijd. Merk op dat de hourglass energie verwaarloosbaar is (in de orde van 1% van de interne energie).

Figuur 6 toont het verloop van de contactkracht in Y-richting als functie van de tijd. De eerste belastingspiek is erg smal en heeft een maximum van ongeveer 380 N op $t=1.8 \cdot 10^{-4}$ s. Duidelijk is dat de impactor en de composieten laag regelmatig loskomen van elkaar na het eerste contact. In deze periodes is de contactkracht nul.

Figuur 7 toont de σ_{yy} op $t=1.39656 \cdot 10^{-4}$ s. Op dit tijdstip wordt in de eerste belastingspiek (zie Figuur 6) een minimale σ_{yy} gevonden van -87 MPa. Figuur 8 toont de σ_{xy} op $t=1.39656 \cdot 10^{-4}$ s. Op dit tijdstip is een maximale σ_{xy} gevonden van 32 MPa in de eerste belastingspiek. Genoemde maximale spanningen zijn geconcentreerd in het element dat het eerst in aanraking komt met de impactor.

3.3.2 Impact op een E-glas woven roving laminaat (17 mm) bekleed met rubber 1 (5 mm)

Figuur 9-Figuur 11 (A: impactor, B: rubber, C: woven roving) tonen respectievelijk de kinetische, interne en de hourglass energie als functie van de tijd. De hourglass energie is gelijk aan nul omdat in deze berekening 'fully integrated bricks' zijn gebruikt. Het verloop van de kinetische en interne energieën van de impactor en in het woven roving is redelijk vergelijkbaar met de situatie in sectie 3.3.1.

Figuur 12 toont het verloop van de contactkracht in Y-richting als functie van de tijd. De eerste belastingspiek is ten opzichte van sectie 3.3.1 duidelijk breder en heeft een lager maximum (228 N) op $t=2.2 \cdot 10^{-4}$ s. Duidelijk is dat de impactor en de rubber/composieten laag langer met elkaar in contact blijven ten opzichte van sectie 3.3.1.

Figuur 13 toont de σ_{yy} op $t=1.99590 \cdot 10^{-4}$ s. De bovenste twee rijen elementen van de plaat zijn van rubber; de acht rijen elementen daaronder zijn composiet. Op genoemd tijdstip is in de eerste belastingspiek (zie Figuur 12) in het rubber een minimale σ_{yy} gevonden van -7.3 MPa. Figuur 14-Figuur 15 toont de σ_{xy} op $t=2.59881 \cdot 10^{-4}$ s. Op dit tijdstip is in het composiet een maximale σ_{xy} gevonden van 6.5 MPa in de eerste belastingspiek. De onsamendrukbaarheid van het rubber komt in Figuur 15 duidelijk tot uitdrukking. Merk op dat de rubberlaag een gunstig

uitsmerend effect heeft op de spanningen: de maximale (minimale in geval van druk) spanningen zijn duidelijk afgenomen ten opzichte van 3.3.1 en de belasting wordt door een groter deel van het onderliggende composiet gedragen.

3.3.3 Impact op een E-glas woven roving laminaat (17 mm) bekleed met rubber 2 (5 mm)

Figuur 16-Figuur 18 (A: impactor, B: rubber, C: woven roving) tonen respectievelijk de kinetische, interne en de hourglass energie als functie van de tijd.

Figuur 19 toont het verloop van de contactkracht in Y-richting als functie van de tijd.

De resultaten zijn vergelijkbaar met de resultaten van sectie 3.3.2.

3.3.4 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van alle in dit hoofdstuk besproken berekeningen zal redelijk zijn. Een meshverfijning zal nodig zijn om de nauwkeurigheid bij locale spanningsconcentraties te verhogen.

De grootste afwijking met de werkelijkheid wordt veroorzaakt door de veronderstelling van een vlakke vervormingstoestand waar in de werkelijkheid van een bolvormige belasting sprake is.

4. Werkbezoeken aan mogelijke producenten

TNO en de Koninklijke Marine hebben een drietal werkbezoeken gebracht aan mogelijke producenten van de nieuwe sonar dome, met name om informatie in te winnen over:

1. Mogelijke materialen.
2. Productiemethoden.
3. Te bereiken wanddiktes.
4. Kostprijzen.
5. Leveringstijden.

Op 25 augustus 1998 is door TNO-CMC en de Koninklijke Marine een werkbezoek gebracht aan Fokker Special Products in Hoogeveen. Appendix C geeft een verslag van dit bezoek.

Op 28 oktober 1998 is door TNO-CMC en de Koninklijke Marine een werkbezoek gebracht aan het Polymarin in Medemblik. Appendix D geeft een verslag van dit bezoek.

Verder is eind 1998 door de Koninklijke Marine en TNO-CLC een werkbezoek gebracht aan Conyplex in Medemblik. Hiervan is geen verslag beschikbaar.

5. Voorstellen voor beproevingen

In overleg met de Koninklijke Marine is besloten om een aantal composieten platen te beproeven. Deze composieten platen worden beproefd op:

1. impact (zowel lage als hoge impact eis)
2. akoestische eigenschappen
3. materiaaleigenschappen (beperkt)

Het hoofddoel van de beproevingen is om de resultaten van de berekeningen uit hoofdstuk 2 te verifiëren. Deze geven aan dat een vervanging van het koolstof door E-glas woven roving een aanzienlijke verhoging geeft van capaciteit tot energieopname (hoge impact eis). In ieder geval worden dus de resultaten van impactbeproevingen op het oorspronkelijke laminaat van de dome (met koolstof) en op nieuwe laminaatsamenstellingen (zonder koolstof) met elkaar vergeleken.

De optie om het composiet aan de buitenzijde met rubber te bekleden om beter aan de lage impact eis te voldoen wordt bij deze beproevingen (nog) niet onderzocht. Als mocht blijken dat de te beproeven platen alle niet aan de lage impact eis voldoen is het aan te bevelen dit alsnog te doen.

Appendix E geeft een verslag van een bespreking van 16 februari 1999 tussen TNO en de Koninklijke Marine over de uit te voeren beproevingen en appendix F een daaruit voortvloeiende aanbieding van TNO aan de Koninklijke Marine.

6. Conclusies en aanbevelingen

Hieronder worden de belangrijkste conclusies gegeven. Deze zijn gebaseerd op de gerapporteerde aannames.

1. Hoofdstuk 1: De meest aantrekkelijke optie om te komen tot een nieuwe dome met een hogere impactbestendigheid onder behoud van de akoestische eisen is het modificeren van de bestaande dome. Deze keuze is voornamelijk gebaseerd op de belangrijke eis dat een korte termijn oplossing moet worden gezocht.
2. Hoofdstuk 2: Vanwege de hogere breukrek van een laag E-glas woven roving (1.7 %) t.o.v. de breukrek van een laag koolstof (0.7 %) is onderzocht of beter aan de 'hoge' impact eis van 30 kJ voldaan kan worden door de samenstelling van het oorspronkelijke laminaat te wijzigen.
Bij de eerste variant worden zowel de koolstof- als de csm-lagen vervangen door E-glas woven roving (wr). Bij variant 2 wordt alleen de koolstof vervangen door E-glas woven roving. De maximale externe energie die variant 1 (44 kJ) en variant 2 (35 kJ) op kunnen nemen is aanzienlijk hoger vergeleken met het oorspronkelijke laminaat (22 kJ); merk op dat beide varianten voldoen aan de 30 kJ eis.
De indringdiepte bij maximale externe energie is voor de beide varianten ongeveer gelijk (0.8 m) en een stuk groter dan bij het oorspronkelijk laminaat (0.45 m).
3. Hoofdstuk 3: Het aanbrengen van een rubberlaag aan de buitenzijde van het composiet heeft een positief effect op het behalen van de 'lage' impact eis. De maximale (minimale in geval van druk) spanningen zijn duidelijk afgenomen. De impactbelasting wordt niet meer lokaal maar door een groter deel van het onderliggende composiet opgevangen.

Aanbevelingen:

1. Hoofdstuk 5: Het testen van proefstukken ter verificatie van de tendensen voortvloeiend uit de berekeningen.

Referenties

- [1] Fey, R.H.B. and Umland, J.J., Impact on a Steel Sonar Dome, TNO-report 98-CMC-R0328, TNO Building and Construction Research, Delft, March 1998.
- [2] Fey, R.H.B., Impact on a Composite Sonar Dome, TNO-report 98-CMC-R0357, TNO Building and Construction Research, Delft, September 1998.
- [3] DYNA3D (A Nonlinear, Explicit, Three Dimensional Finite Element Code For Solid and Structural Mechanics) User Manual, R.G. Whirley and J.O. Hallquist, Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-MA-107254, May 1991.
- [4] Theoretical Manual for DYNA3D, John O. Hallquist, Lawrence Livermore National Laboratory, UCID-19401, March 1983.
- [5] LS-DYNA User's Manual (Nonlinear Dynamic Analysis of Structures in Three Dimensions), Version 940, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA, June 1 1997.
- [6] LS-DYNA3D Theoretical Manual, LSTC Report 1018 Rev. 2, J.O. Hallquist, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA, July 1993.
- [7] Seinstra, S., Statisch en dynamisch materiaalmodel t.b.v. elasto-hydrodynamische lager berekeningen, TNO-IWECO rapport 5076503-84-1, TNO Instituut voor Werktuigkundige Constructies, Delft, december 1984.

Appendix A Brainstormsessie

Verslag en eerste uitwerking

Brainstormsessie Sonardome

18 juni 1998

Opstellers

R.H.B. Fey
G.J. Meijer

TNO-Centrum voor Mechanische Constructies

Plaats: TNO Centrum voor Mechanische Constructies
Schoemakerstraat 97,
Delft

Inhoudsopgave

0. Gevolgde werkwijze	23
1. Aanwezigen brainstormsessie	23
2. Probleemstelling	24
3. Eisen en randvoorwaarden	24
4. Oplossingen	25
5. Toetsing oplossingen aan eisen	26
6. Groepering van oplossingen	29
Groep 1: Haaienbek/venster	29
Groep 2: Staal	29
Groep 3: Aanpassen bestaande composiet dome	30
Groep 4: Vangnet	30
Groep 5: Thermoplast	31
Groep 6: Tussen- en toplagen	31
Groep 7: Wild cats	31
7. Voorstel voor verdere ontwikkelingen	31
8. Voorlopige conclusies	32

0. Gevolgde werkwijze

Bij de evaluatie van de brainstorm is als volgt te werk gegaan. Eerst is in de hoofdstukken 2, 3 en 4 een zo getrouw mogelijke weergave van de discussie gegeven. Het betreft achtereenvolgens de probleemstelling, de eisen en randvoorwaarden en tenslotte 41 aangedragen ideeën en deeloplossingen. Tot dat moment is een zo breed mogelijk proces nagestreefd.

In hoofdstuk 5 is vervolgens een matrix uitgewerkt waarbij aan elk van de 41 aangedragen ideeën een toetsing aan de overeengekomen eisen en randvoorwaarden is uitgevoerd. Op basis van een sortering op ontwikkeltermijn en hoogste totaalscore is een sortering uitgevoerd. Vanuit een niet noodzakelijk erg rationele aanschouwing van dit resultaat zijn vervolgens 7 hoofdconcepten vastgesteld. Het betreft dus nu een convergerend proces. In hoofdstuk 6 is een opsomming van issues en acties aangegeven die van belang zijn bij verdere ontwikkelingen. Vanuit deze optiek zijn hieruit tenslotte twee voorstellen met varianten voor verdere ontwikkeling gedestilleerd die in hoofdstuk 7 getoetst zijn aan de eisen en randvoorwaarden.

1. Aanwezigen brainstormsessie

TNO-Industrie (vh. Produktcentrum):
P. Hoste (dagvoorzitter)

DMKM/Martech:
A. van der Made
T.N. Bosman
E. Westendorp
A. Vaders
G. Graafmans
J.F. van Wuijckhuise

DMKM/WCS:
A. Wilms

Sewacobedrijf Den Helder:
J. Spoolder

Rijkswerf:
A. Verkooijen

MML:
mw B. Wildeboer

TNO-CMC:
G.J. Meijer
R.H.B. Fey
J.E. van Aanhold

TNO-CLC:
W.H.M. Souren

2. Probleemstelling

Het huidige (composiet) sonardome-ontwerp dient verbeterd te worden met betrekking tot de impactbestendigheid onder behoud van de bestaande akoestische eigenschappen.

3. Eisen en randvoorwaarden

Mogelijke oplossingen voor het probleem dienen te worden getoetst aan de volgende eisen en randvoorwaarden:

1. De nadruk ligt op het vinden van een korte termijn oplossing. Eind 1998, begin 1999 zou de eerste productie van de verbeterde dome moeten plaatsvinden.
2. Akoestische eisen: in een gegeven frequentiegebied mag de akoestische demping maximaal 2 dB zijn. Deze eisen gelden niet alleen bij aflevering maar blijven ook geldig tijdens gebruik. Van groot belang is dat er geen luchtinsluitels in het laminaat aanwezig zijn. Delaminatie veroorzaakt een akoestische demping van (geschat) 6 tot 8 dB. Bij de stalen domes zijn problemen geweest met plaatsbepaling van objecten vanwege reflecties, die veroorzaakt werden door de verstijvers; verstijvers zijn dus minder wenselijk.
3. Mechanische eisen met betrekking tot impact:
 - a) Maximale impact energie waarbij de sonar behouden dient te blijven (er mag geen gat in de dome ontstaan): 30 kJ. Bij een scheepssnelheid van 30 knopen (15 m/s) komt dit overeen met een object van maximaal 265 kg. Bij een aanvaring tegen een kade speelt de *scheepsmassa* een rol en komt 30 kJ overeen met een verwaarloosbare snelheid m.a.w. de dome zal dan altijd beschadigen.
 - b) Maximale impact energie waarbij de akoestische eisen gehandhaafd dienen te blijven: 3 kJ. Bij een scheepssnelheid van 30 knopen (15 m/s) komt dit overeen met een object van maximaal 26.5 kg. De keuze van 3kJ is vrij arbitrair bepaald op 10 % van de maximale impact energie waarbij de sonar behouden dient te blijven. De impactenergie nodig voor initiële schade is vaak lager dan 3 kJ.
4. Eisen met betrekking tot hydrostatische en hydrodynamische belastingen onder maximale vaarsnelheid. Er worden 4 typen belastingen onderscheiden: I slammingbelasting (piekbelasting op de bodem van 5 bar), II weerstandsbelasting (snelheidsdrukverdeling met een piek op de voorkant van 1.36 bar), III uitwendige waterdruk wordt bepaald door de diepgang (statische component) en de correctie voor de golfdruk (dynamische component) en IV inwendige waterdruk bepaald door de waterkolom in de expansietank (het waterniveau ligt 7 m boven de stilwaterlijn, hierboven op komt de versnellingsbelasting ter plaatse van het voorschip). De volgende belastingcombinaties worden onderscheiden (volgens de KM voldoet de huidige dome aan al deze eisen):
 - a) Sonar in operationele conditie: combinatie van belasting I, II, III en IV.
 - b) Sonar niet actief, dome niet gevuld: combinatie van belasting II en III. In het bijzonder speelt knik een belangrijke rol onder deze conditie.
 - c) Inspectie van droge dome te water liggend, voor inspectie van de transducer; belasting III.
 - d) Schip in dok met gevulde dome: belasting IV zonder versnellingen.
5. Productie-eisen:
 - a) Korte productietijd.
 - b) Verbetering van de laminaatkwaliteit met het oog op impactbestendigheid. Behoud van akoestische en sterkte-eigenschappen.

- c) Vermijden van deelnaad of een deelnaad die de constructie minder slecht beïnvloedt. De huidige deelnaad splitst de dome in twee helften (bakboord en stuurboord). Dit wordt minder wenselijk geacht omdat daardoor de voorzijde van de dome, die de grootste kans maakt om objecten te raken, verzwakt wordt.
- 6. Kosten laag houden. Ter vergelijking: de kosten voor de stalen domes van het S-fregat worden geschat op 1 miljoen gulden per dome. De (in huis gemaakte) domes van het M-fregat kosten ca. 450 duizend gulden. De composiet domes worden door de Rijkswerf vervaardigd terwijl de stalen domes in Frankrijk vervaardigd zijn. Bij de beoordeling van de kosten dient onderscheid gemaakt te worden tussen:
 - a) Eenmalige kosten
 - b) Ontwikkelings- en investeringskosten per jaar
 - c) Onderhoudskosten (inspectie-interval, inspectietechnologie, veroudering/corrosie)
- 7. De dome moet relatief gemakkelijk onderhouden, gerepareerd en geïnspecteerd kunnen worden. Dit stelt onder meer eisen aan toegankelijkheid en toegepaste verbindingen. De mogelijkheid om zonder te hoeven dokken onder water reparaties uit te voeren is wenselijk

4. Oplossingen

Tijdens de brainstormsessie werden de volgende mogelijke (deel)oplossingen naar voren gebracht (na afloop van de brainstormsessie kon iedere deelnemer 3 stemmen uitbrengen; tussen haakjes staan het aantal stemmen dat op een oplossing is uitgebracht, het totaal aantal uitgebrachte stemmen is 29):

- 1. (0) De dome vervaardigen van een vezelversterkte thermoplast. De dome wordt van binnenuit onder druk gezet, zodat de wand onder trekspanning komt te staan.
- 2. (0) Een spantloos laminaat gebruiken dat deels van staal, deels van composiet gemaakt is.
- 3. (5) Een zogenaamde haaienbek constructie gebruiken: de dome van staal maken en het venster van composiet.
- 4. (0) De kooiconstructie versterken met een vangnet.
- 5. (4) Driedimensionale weefsels gebruiken om de interlaminaire sterktes te verhogen.
- 6. (0) Autoband materiaal gebruiken (canvas, staal, kunststof, rubber): flexibel.
- 7. (0) Als optie 3, één type vezel in het venster gebruiken.
- 8. (0) Een hydrostatisch gesloten systeem gebruiken zoals (slappe dome), variant van optie 1 en 6.
- 9. (0) De sonar anders construeren zodat een dome niet nodig is.
- 10.(0) In het productieproces prepreg (verbeterde hechting tussen vezel en hars) en autoclaaf (damp onder hoge druk) toepassen.
- 11.(2) Vacuüm injectie en prepreg toepassen.
- 12.(0) Volledig stalen dome met of zonder verstijvers.
- 13.(3) Buitenlagen met glas/Dyneema (hoge sterkte) vezels en rubber/polyurethaan (gesloten celstructuur) in de tussenlaag.
- 14.(0) De sonar ergens anders plaatsen dan in de boeg waar hij vrij kwetsbaar is.
- 15.(0) De sonar met de dome uitschuifbaar maken.
- 16.(0) Sensoren in de scheepshuid plaatsen.
- 17.(0) Een dubbele wandconstructie maken met gaatjes in de buitenwand die zorgen voor demping.
- 18.(4) Wegwerp dome of voorzet 'lens' gebruiken.
- 19.(0) Voor het venster een thermoplast (met langere vezels) gebruiken.
- 20.(0) Totale dome met thermoplastische panelen (polypropyleen met glasvezels versterkt).
- 21.(7) Het concept van de huidige dome gebruiken, echter het laminaat alleen van glasvezel en vinylester maken. Het venster 25 mm dik maken en de rest 35 mm.

- 22.(0) De dome volledig van thermoplast maken. Deelconstructies kunnen worden gelast.
Rotomoulding toepassen voor maken van deelconstructies (grootste product 3 m x 1.5 m).
- 23.(0) Een hybride laminaat bestaande uit metaal en composiet toepassen.
- 24.(0) Stalen verstijvingen toevoegen aan de huidige dome.
- 25.(0) Composieten verstijvingen toevoegen aan de huidige dome.
- 26.(0) Gesloten systeem zoals toegepast wordt in helmen met silicone (snel te vervormen).
- 27.(0) Dyneema-PE-laminaat aan de buitenzijde aanbrengen op de huidige dome met medium ertussen.
- 28.(0) Als optie 27, alleen nu Dyneema-PE-laminaat op Citroën manier.
- 29.(0) Zorgen voor een flexibelere ophanging van de dome (zoals een autobumper).
- 30.(0) Een kreukelzone inbouwen in de dome.
- 31.(0) Een smalle blinde vlek toestaan voor de sonar, waardoor de dome verstevigd kan worden.
- 32.(3) De wand van de huidige sonar dome verdikken.
- 33.(0) De huidige dome niet wijzigen, extra domes in voorraad houden. De dome beter en sneller montabel maken.
- 34.(0) Laminaat hand-layup vervaardigen en vacuüm natrekken.
- 35.(0) Laminaat verwarmen en onder druk zetten, laten afkoelen onder druk, lucht eruit halen.
- 36.(0) Sonar ongewijzigd laten, geen dome.
- 37.(0) Het kwetsbare voorvlak van de dome verkleinen door voorzijde van de dome uit te laten lopen in een punt. Een probleem hierbij is dat de stroming rond de dome laminair moet blijven.
- 38.(0) Een as door de sonar heen laten lopen als een stut naar de bodem ter versterking van de dome.
- 39.(1) Sonar ingieten in polyurethaan.
- 40.(0) De dome kleiner maken.
- 41.(0) Staal vervangen door een ander materiaal.

5. Toetsing oplossingen aan eisen

In Tabel 1 is een eerste poging gedaan om tot een rangschikking van de oplossingen te komen in aflopende mate van geschiktheid (van boven naar beneden). Hierbij is getracht te beoordelen in hoeverre iedere oplossing aan de eisen en randvoorwaarden genoemd onder paragraaf 2 voldoet. Indien een oplossing aan een bepaalde eis voldoet wordt het cijfer 1 toegekend, indien dit onbekend is het cijfer 0 en indien de beoordeling negatief uitvalt het cijfer -1. De rangschikking is als volgt tot stand gekomen in volgorde van afnemende prioriteit: 1) indeling op basis van geschiktheid voor korte termijn (kolom I), 2) indeling op basis van de som van de kolommen J-P (kolom Q), 3) indeling op basis van akoestische geschiktheid (kolom J). Kolommen A-G ter linkerzijde van de oplossing doen niet in de beoordeling mee en dienen alleen tot aanvullende informatie.

6. Groepering van oplossingen

De 41 bovenstaande oplossingen kunnen ruwweg in 7 hoofdgroepen worden verzameld. Deze hoofdgroepen geven vooral het accent van de oplossing aan. Als zodanig kan er een flinke overlap bestaan tussen de hoofdgroepen. Er is geen poging ondernomen deze overlap te vermijden. Dat betekent dat veel van de 41 oplossingen in meerdere hoofdgroepen kunnen worden ingedeeld. In Tabel 1 staan in kolom R de hoofdgroepen vermeld waarin een bepaalde oplossing kan worden ingedeeld.

In de volgende opsomming staat voor iedere hoofdgroep een aantal 'issues' genoemd die in een volgend stadium nader uitgewerkt dienen te worden.

De lijst met issues is voorlopig en onvolledig. De genoemde acties zijn een eerste indicatieve schatting.

Groep 1: Haaienbek/venster

Issue	Actie
globale stijfheid en sterkte zonder meedragend venster (composiet of staal)	inschatting, EE-berekening
inventariseren opties meedragend venster (materiaal, uitvoering, verbindingaspecten)	concepten verzamelen en bespreken
verstijven dome	bespreken KM
verstijven venster zelf (comp. of staal)	conceptontwerp EE-berekening
verstijven haaienbek (i.p.v. venster)	rho.c stut ontwerpen EE-berekening
selectie materiaal venster/verstijvers (rho.c materiaal)	CLC, leveranciers
verbindingstechnieken	conceptontwerpen
repareerbaarheid, onderhoudbaarheid	CLC-project

Groep 2: Staal

Issue	Actie
beter in kaart brengen wat bezwaren precies zijn	bespreken KM
kan aan bezwaren worden tegemoet gekomen	voorstellen formuleren
stalen dome, stalen venster	EE-berekening S-fregat herhalen met gewijzigd venster
venster als dun stalen membraan	idem knikbeschouwing
staal verstijven met rho.c materiaal	ontwerp berekening

Groep 3: Aanpassen bestaande composiet dome

In een strenge variant wordt het ontwerp aangepast. Binnen deze groep past echter ook het idee om de dome onder de M-fregatten aan te passen (dit is dan ook uiteraard alleen een oplossing voor de M-fregatten).

Issue	Actie
perspectief (kan principieel aan de eisen worden voldaan)	proefplaten belasten met 3 kJ
vezel- en harstype selecteren	overleg KM en producenten
vezelrichting en diktes optimaliseren	EE-berekeningen
details optimaliseren	lokale EE-berekeningen
productiemethode verbeteren	voortzetten overleg CLC en 4 producenten
Bij een reeds geproduceerde (reserve)dome: bijlamineren van extra lagen, aanbrengen van beschermende laag, toevoegen van vangnet	effecten inschatten door middel van akoestische en mechanische proeven, berekeningen e.d.

Hoewel op het eerste gezicht aantrekkelijk (snel) blijkt het ontwikkeltraject toch nog vrij lang. Daarbij komt nog de relatief lange productietijd van de (huidige) composiet dome zodat in totaliteit deze oplossing niet meer 'korte-termijn' is.

Anderzijds kan het zo goed mogelijk modificeren van een bestaande dome, bijvoorbeeld tijdens een reparatie, wel wat soelaas (sneller, zie werkplan) bieden. In dat geval moet wel zijn uitgezocht wat wel en niet effectief is.

Groep 4: Vangnet

Issue	Actie
keuze (dyneema, aramide, polyester vezels, andere [staal?])	overleg voeren leveranciers, CLC
binnenkant of buitenkant	EE-berekening aan bol of cilinder proefplaten op drukbank, valproef
bevestiging cq meelamineren	opties verzamelen (CLC) berekeningen experimenten aan proefplaten
eventueel nadelige beïnvloeding akoestische eigenschappen	proeven/berekeningen TPD

Deze oplossing is interessant in combinatie met een al dan niet geoptimaliseerde composiet dome en in combinatie met kunststof vensters.

Groep 5: Thermoplast

Issue	Actie
welke meest geschikt (fabricage, geometrie, akoestische eigenschappen, impact, veroudering, lijm- en lasbaarheid)	CLC, leveranciers beproeving (CMC, CLC, TPD)
knik, stijfheids- sterkteaspecten. Verstijfingsribben toepassen	EE-berekeningen beproeving
versterken met continue vezel ?	CLC, beproeving
idem gehochte vezel ?	CLC, leveranciers, beproeving

Deze oplossing is ook voor de afmetingen van het venster op z'n minst ambitieus. De voorkeur gaat daarom vooralsnog uit van onversterkte thermoplasten. In feite is totale ontwikkeltraject nog niet te overzien.

Groep 6: Tussen- en toplagen

Issue	Actie
inventarisatie mogelijkheden (b.v. water, rubber, gel, siliconen), literatuur-onderzoek	overleg CLC, CMC, KM, ...
akoestische eigenschappen	beproeving TPD
impactbestendigheid	beproeving

Deze groep lijkt vooral zinvol in combinatie met een composiet venster. Doel is dan met name een oplossing te bieden voor de 3 kJ eis. De beproevingen kunnen samen met die van Groep 3 en 4 worden uitgevoerd.

Groep 7: Wild cats

Dit zijn de oplossingen die op het eerste gezicht ingrijpende modificaties en een langer ontwikkeltraject vereisen. Genoemd zijn o.m. uitschuifbare sonar, sensoren in de huid, dome onder voordruk (star of flexibel autoband) en een al dan niet 'actieve' flexibele ophanging van de dome.

7. Voorstel voor verdere ontwikkelingen

Nadere beschouwing leert dat met name de volgende oplossingen op de korte termijn haalbaar zijn:

1. aanpassing van een bestaande dome. Het betreft hier niet een aanpassing van het ontwerp maar een doelmatige modificatie van de bestaande domes zelf. Hiermee kan bij een schade de dome doelmatig worden gerepareerd. De volgende aspecten worden beschouwd:
 - vezeltype extra laag c.q. nieuwe venster
 - harstype extra laag c.q. nieuwe venster
 - reparatie/productiewijze
 - vangnet
 - extra impactbestendige tussenlaag
2. stalen dome uitgevoerd als haaienbek met composiet venster. Door verbeterde productietechniek kan een composiet venster wellicht zo al voldoen aan de lage impacteis.

Zo niet dan biedt een beschermende (tussen) laag perspectief. Voor de hoge impacteis is een vangnet in de vorm van hoge sterkte vezels vereist.

3. Een variant op 2. is een thermoplastisch venster. Met of zonder verstijvers en met of zonder versterkingsvezels.
4. Een andere variant op 2. is een (dun) stalen venster, al dan niet verstijfd met rho.c materiaal.

In Tabel 2 zijn bovenstaande vier oplossingen nogmaals vergeleken met de eisen en randvoorwaarden uit hoofdstuk 3. Nu is gekozen voor een beoordeling in een schaal lopend van 1 (negatief) tot 5 (positief).

	Termijn	akoestiek	lage impact	hoge impact	onderhoud	inspectie	totaal
aanpassing bestaande dome	5	4	3	3-4*	2	2	19-20*
haaienbek, composiet venster	3	4	3	3-4*	4	2	19-20*
haaienbek, thermoplast venster	3	5	4	2-3*	4	3	19-20*
haaienbek, stalen venster	4	3	5	5	4	5	26

Tabel 2 Toetsing van oplossingen aan randvoorwaarden/eisen (*met Dyneema of aramide vangnet).

Voor deze 4 oplossingen worden voorlopige werkplannen opgesteld.

8. Voorlopige conclusies

1. Op 18 juni 1998 is een brainstorm gehouden met as doel een verbetertraject op te starten voor de bestaande sonardomes van het M-fregat en de nieuwe domes voor het LC-fregat.
2. De mechanische eisen spitsen zich vooralsnog toe op enerzijds een behoud van weerstand tegen (dynamische) over- en onderdruk en slammings en anderzijds een verbetering van de impactbestendigheid. Deze laatste eis is gesplitst in een lage-impacteis die een volledig behoud van akoestische performance bij impacts tot 3 kJ nastreeft en een hoge-impacteis die neerkomt op niet-penetreren resp. geen gevaar voor raken van de sonar bij botsingen van 30 kJ.
3. Uit de brainstorm is een groot aantal (41) goede ideeën naar voren gekomen die in een aantal onderlinge combinaties het potentieel hebben aan de eisen en randvoorwaarden te voldoen.
4. De oplossingsrichtingen kunnen gegroepeerd worden in 7 hoofdgroepen.
5. Nadere beschouwing leert dat 4 oplossingen op korte termijn haalbaar zijn: 1) aanpassing van een bestaande dome (het betreft hier niet een aanpassing van het ontwerp maar een doelmatige modificatie van de bestaande domes zelf), 2) stalen dome uitgevoerd als haaienbek met composiet venster, 3) een variant op 2) is een thermoplastisch venster; met of zonder verstijvers en met of zonder versterkingsvezels, 4) een andere variant op 2) is een (dun) stalen venster, al dan niet verstijfd met rho.c materiaal. Voor deze 4 oplossingen worden voorlopige werkplannen opgesteld.
6. Als het stalen venster akoestisch acceptabel is lijkt deze oplossing bij eerste beschouwing de beste.

Appendix B Stalen Haaienbek met Thermoplastisch Venster

Stalen dome met haaienbek

Stijfheid en sterkte

1. Uitgangspunten.....	34
2. Belastingen	34
A. Operationele conditie	34
B. Inspectie in haven en uitvaren met lege sonardome	34
C. Dokken.....	34
3. Bepaling dikte venster	35
4. Stijfheid onderkaak.....	35
5. Mogelijke bijdrage venster in globale stijfheid.....	36
6. Drie constructieve uitvoeringen	36
7. Verdere overwegingen.....	36
8. Conclusies	37

1. Uitgangspunten

De dome is opgebouwd als een voldoende stijve opengesperde haaienbek, uitgevoerd als een stalen verstijfde schaalconstructie. Vóór de bek zit een akoestisch doorlaatbaar venster op basis van een polymeer dat ofwel alleen lokale drukken hoeft op te nemen ofwel deels meedraagt in de globale stijfheid. De stijfheid en sterkte van de onderkaak en van het venster zijn van bijzonder belang: de onderkaak is slank, het venster is van een relatief slap materiaal.

2. Belastingen

A. Operationele conditie

Statisch bestaat de belasting uit een inwendige overdruk bestaande uit 0.7 bar waterdruk in de expansiebuis. Inclusief een versnellingseffect wordt een quasi-statische druk van 1 bar aangenomen. Daarnaast is er sprake van een kortdurende slammingsdruk van (zeg) 5 bar en een lokale weerstandsdruk van 1.4 bar.

B. Inspectie in haven en uitvaren met lege sonardome

Inclusief een golfhoogte-effect bestaat de belasting uit een quasi-statische uitwendige waterdruk van 1 bar.

C. Dokken

Inwendige waterdruk van 0.7 bar in de expansiebuis plus de druk overeenkomend met de diepgang van 5 m. Samen 1.2 bar statische druk

Dynamische effecten als gevolg van slamming treden vooral op de bodem van de staalconstructie. De massa van de onderkaak zal een grote rol spelen in de weerstand tegen deze slamming. De hydrodynamische weerstand van 1.4 bar wordt voorlopig even genegeerd. Samenvattend wordt voorlopig uitgegaan van *een statische uitwendige druk van 1 bar en een statische inwendige druk van 1.2 bar*.

3. Bepaling dikte venster

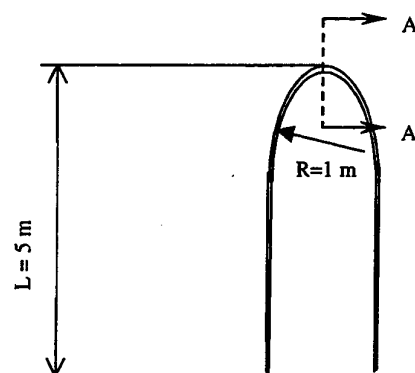
Voor deze beschouwing wordt het voorste gedeelte van het venster als een deel van een bolschaal beschouwd met een straal van 1.2 m (zie bijgaande schets). De *dikte* hangt af van de materiaalkeuze. Een eerste inschatting van de dikte volgt uit een knikbeschouwing. Daarvoor geldt als eerste inschatting een orde van grootte (op basis van de formule voor een volledige bol):

$$\frac{R^2}{t^2} \approx 0.3 \frac{E}{p}$$

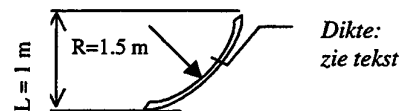
Voor de verstijfde en onverstijfde thermoplast ($E=20$ GPa en 2 GPa resp.) geldt respectievelijk 5 en 16 mm. Op grond van een *spanningsbeschouwing* moet gelden

$$\frac{R}{t} \approx \frac{2\sigma_{\max}}{p}$$

Voor een versterkte thermoplast met een sterkte van 250 MPa volgt zo een dikte t van slechts ca. 0.25 mm. Voor een onversterkte thermoplast (75 MPa) volgt ca. 0.8 mm. In beide gevallen is dus knik bepalend voor de dikte. Voor een bolkapje van 90° volgen iets grotere diktes: respectievelijk 6 en 18 mm. Bij deze waarden is al enigszins rekening gehouden met imperfecties. Voorlopig worden de waarden daarom vastgesteld op 10 en 30 mm voor de verstijfde resp. de onverstijfde thermoplast.



Bovenaanzicht



Doorsnede A-A

4. Stijfheid onderkaak

De volgende hoofdafmetingen gelden voor de onderkaak.

- Maximale lengte $l=5$ m.
- Maximale hoogte $H=0.5$ m.
- Maximale breedte $B=1.2$ m.

Voor de constructie wordt aangenomen een rechthoekige holle doorsnede met wanddikte $t=16$ mm. De belasting is een verdeelde belasting q als gevolg van een druk $p=10^5$ Pa over breedte B ($q=B \cdot p$). Het mechanisch gedrag wordt ingeschat op basis van de veronderstelling dat de onderkaak een ingeklemde balk is. Het buigtraagheidsmoment I , bij verwaarlozing van de verticale delen bedraagt dan:

$$I \approx B \cdot t \cdot H^2 = 0.0048 \text{ m}^4$$

De doorbuiging w wordt daarmee:

$$w = \frac{qL^4}{8EI} = 9.3 \cdot 10^{-3} m$$

Bij een dikte van 20 mm en een maximale hoogte van 0.65 m wordt deze doorbuiging w verkleind tot 4.4 mm.

1. Mogelijke bijdrage venster in globale stijfheid

Als het venster meedraagt wordt de belasting verdeeld over de kaak en het venster volgens een verdeelsleutel die bepaald wordt door de lokale stijfheden van beide delen. Om een *eerste* indruk te krijgen wordt verondersteld dat het venstermateriaal de belasting van 1 bar over de onderkaak volledig opneemt alsof de kaak vrij kan scharnieren. Als benadering wordt een in z'n vlak belaste vlakke plaat aangenomen met een hoogte van $H_v = 1$ m, een dikte van $t_v = 10$ mm en een E-modulus van 20 GPa. Dit zijn de hoofdafmetingen van het venster. De belasting q wordt door twee venstergedeeltes (BB- en SB-zijde) gedragen dus er zal gelden:

$$w = \frac{\frac{1}{2} Bp}{Et_v/H_v} = 0.3 \cdot 10^{-3} m$$

Dit is een onderschatting van de werkelijke doorbuiging omdat het venster in feite gekromd en maar de schatting voldoet voor dit moment en voor het doel van een stijfheidsvergelijking.

2. Drie constructieve uitvoeringen

Onder dezelfde belasting buigt zelfs de zware 20 mm onderkaak bijna 15 maal zo veel door als een venster dat in zijn eigen vlak wordt ingedrukt met dezelfde belasting. Op grond hiervan zijn drie constructieve uitvoeringen denkbaar.

1. **De verbinding tussen venster en dome is star.** Het venster gaat nu de belasting vrijwel volledig dragen. Als gevolg daarvan heeft een 'stijve' onderkaak geen zin meer en deze kan in feite tot normale scheepsbodempporties worden teruggebracht.
2. **De verbinding tussen venster en dome wordt zo flexibel gemaakt** dat de vervorming van de kaak van resp. 4.4 en 9.3 mm door de verbinding kan worden opgenomen. In dat geval moet de sterkte van de kaak nog wel worden gecontroleerd. Deze is bij benadering:

$$\sigma \approx \frac{\frac{1}{2} q l^2}{I/(\frac{1}{2} H)} = 78 \cdot 10^6 Pa.$$

Deze waarde geldt voor de 16 mm uitvoering. Het is voorlopig een acceptabele nominale waarde.

3. Er wordt een **extra steun** aangebracht die de kaak en het venster ontlast. Een, hier helaas niet mogelijke oplossing bestaat uit een stut door de hartlijn van de sonar. Alternatief is een akoestisch doorlaatbare stut vóór de sonar. Bijvoorbeeld een onverstijfde al dan niet vezelversterkte thermoplastische buis van een materiaal met dezelfde ρc als water.

4. Verdere overwegingen

De keus wordt verder onder meer bepaald door fabricagemogelijkheden, (de)montage, onderhoud, duurzaamheid en kosten.

Ad 1) De starre verbinding ligt wat dichterbij de ervaringswereld van de scheepbouwer dan een flexibele hoewel een sterke, duurzame verbinding tussen een gekromde constructie van vezel-versterkte thermoplast en een metaalconstructie ook de nodige hoofdbrekens zal kosten.

Ad 2) De flexibele oplossing vereist wel veel bewegingsvrijheid: inclusief enige reserve minstens 10 mm. Dat vereist een rubber membraan of een PVC/Nylon doek. Maar dan kan wellicht beter voor een van de oplossingen worden gekozen die gebaseerd zijn op een op voordruk gebrachte rubberband (zie [... resultaten brainstorm.....]).

Ad 3) De extra stut is constructief het meest aantrekkelijk maar moet eerst bovenal op akoestische aspecten worden beoordeeld. Duidelijk is wel dat het een vrij dikke en dikwandige buis wordt die de toegankelijkheid van de sonaruimte beperkt.

5. Conclusies

6. In deze inleiding is een sonardome-constructie beschouwd op basis van een stalen haaienbek met een kunststof venster.
7. Op basis van enkele afschattingen is voor het venster vastgesteld dat een onversterkte thermoplast een dikte van minstens 30 mm zal moeten hebben. Bij een versterkte thermoplast volstaat 10 mm. Daarbij is er van uitgegaan dat het venster geen bijdrage behoeft te leveren in de globale stijfheid.
8. Anderzijds wordt geconstateerd dat een volledig zelfdragende stalen haaienbekconstructie zoveel doorbuigt onder de gegeven belastingen dat de verbinding tussen venster en staalconstructie problematisch wordt.
9. Een meedragend venster vereist een constructief moeilijke verbinding tussen venster en dome. De eisen aan de maatnauwkeurigheid van het venster zullen hoog zijn. Het ligt bovendien in de verwachting dat de dikte van de versterkte thermoplast nu opgevoerd zal moeten worden tot een waarde vergelijkbaar met de bestaande composiet dome.
10. Een derde oplossing voorziet in het toepassen van een akoestisch doorlaatbare relatief stijve stut tussen de beide kaken van de haaienbek. Een stut is aanzienlijk eenvoudiger nauwkeurig op maat te maken dan een dubbelgekromd venster.
11. Op grond van bovenstaande overwegingen wordt geconcludeerd dat de gestutte onderkaak de enig haalbare oplossing is.
12. Een versterkte thermoplast van 10 mm of een onversterkte van 30 mm komen beide in aanmerking.
13. Op korte termijn moet onderzocht worden of dergelijke diktes fabriceerbaar zijn. Vervolgens zal moeten worden onderzocht of ze akoestisch toelaatbaar zijn waarbij opgemerkt wordt dat de geluidsgolven tweemaal door de dikte van de stut en door het venster moeten.

Appendix C Verslag werkbezoek Fokker Special Products

Verslag Werkbezoek Fokker Special Products in Hoogeveen 25 augustus 1998

Opstellers: Rob Fey en Gert-Jan Meijer

Project: Advies Sonardome (A98KM127 - 82375215)
Geïntegreerde mast (A97KM157 - 82375075)

Inhoud

1. Deelnemers werkbezoek
2. Verloop werkbezoek
3. Technische discussie
4. Gemaakte afspraken

1. Deelnemers werkbezoek:

Fokker Special Products

Jaques van Muijen	Custom Engineer, contactpersoon
Sjoerd Resink	BU manager Missile systems
Gerard Enschede	Senior Engineer Design and Stress

Fokker Aviation

Arthur Braam	Sales manager Defense marketing
--------------	---------------------------------

Koninklijke Marine, DMKM

Ad van der Made

TNO Centrum voor Mechanische Constructies

Gert-Jan Meijer

Rob Fey

2. Verloop werkbezoek

Door TNO is samen met de KM een bezoek gebracht aan Fokker Special Products in Hoogeveen. Vanuit twee lopende projecten voor de Marine was hiervoor aanleiding: 'Advies Sonardome' en 'Geïntegreerde mast'.

Fokker SP hoort bij de holding Fokker Aviation BV, dat weer een onderdeel is van de Stork Group. In een bedrijfsfilm werden de producten van Fokker Special Products getoond.

Vervolgens werd door Fokker SP een overzicht van de organisatie en de diverse business units gegeven waaruit het bedrijf bestaat. Door TNO en de KM werden de doelstellingen van het bezoek uiteengezet:

- Fokker SP is wellicht een kandidaat voor de productie van een nieuw ontwerp van de sonar dome, de zgn.stalen haaienbek variant met composieten/kunststoffen venster, al dan niet met een stut verstijfd.
- Fokker SP kan wellicht een bijdrage leveren in het ontwerp en de productie van proefstukken die karakteristiek zijn voor verbindingen in een toekomstige (composiet) mast.

Hierna volgde een technisch inhoudelijke discussie over problemen en mogelijke oplossingen, op basis waarvan enige afspraken zijn gemaakt (zie beneden). Tot slot werd een rondleiding door de fabriek gegeven, waarbij onder andere de autoclaaf oven getoond werd

en de productie van de ARIANE IV raket bezocht werd. Duidelijk werd dat kwaliteitscontrole hoog in het vaandel staat.

3. Technische discussie

De volgende punten zijn aan de orde geweest:

- Op advies van TNO houdt de KM twee opties open voor de sonardome:
 - 1) nieuw ontwerp: stalen haaienbek met composieten/kunststoffen venster, al dan niet met een stut verstijfd
 - 2) modificatie bestaande composiet dome.
- Fokker SP maakt voornamelijk serieproducties, dus niet zozeer enkelstuks en massaproducties. Dit sluit aan bij de aantallen domes die nodig zijn voor de LC-fregatten en eventuele vervangende domes voor de M-fregatten (orde van grootte 15 stuks).
- Besproken varianten wat betreft materialen voor venster in haaienbek constructie:
 - 1) glasvezelversterkte thermoplast (PEI, PPS), $E=24$ GPa, $s = 300$ MPa
 - 2) onversterkt thermoplast (acrylaat, polycarbonaat),
 - 3) composiet op basis van thermoharder (glas/epoxy)
- Besproken varianten voor modificatie bestaande dome: buitenzijde bekleden met vangnet (DYNEEMA, aramide) om aan 30 kJ impact eis tegemoet te komen. Anderzijds zou om aan de 3 kJ impact eis te voldoen een buitenlaag aangebracht moeten worden met voldoende taaheid. Fokker SP is in staat lagen composiet en thermoplast te combineren (weliswaar alleen nog in een speciaal geval toegepast).
- Het venster zal waarschijnlijk in twee delen gemaakt moeten worden vanwege afmetingen van het venster van de sonar dome (5m lang, 1.5 m hoog, kleine 3 m breed) en de afmetingen van de autoclaaf (3 m in diameter, 10 m lang). De deelnaad zal dan recht voorop de neus, in het verticale vlak lopen.
- Fokker SP maakt hoofdzakelijk dunwandige producten; veel producten zijn bestemd voor de lucht- en ruimtevaart. 10 mm is voor Fokker SP een zeer dikke wand, terwijl bij (het venster van) de dome gedacht wordt aan diktes van 10 tot 40 mm.
- Verder is een discussie gevoerd over de voor- en nadelen van verschillende conceptverbindingen van sandwichpanelen zoals door TNO en de KM zijn verzameld in het kader van een geïntegreerde mast. Op basis hiervan zal TNO een aantal proefstukken ontwerpen en die aan Fokker SP voorleggen voor commentaar en een prijsschatting voor de productie.

4. Gemaakte afspraken

- TNO zal in samenspraak met de KM, Fokker SP de relevante eisen, wensen en specificaties over de sonardome doen toekomen. Fokker SP kan wellicht door kennis te nemen van het pakket van eisen een meer gefundeerd advies geven over het te gebruiken materiaal in de dome.
- Fokker SP zal op basis hiervan een voorstel maken voor de vervaardiging van proefstukken in de drie genoemde materialen. Hiermee kunnen verschillende aspecten worden onderzocht.
 - 1) mogelijkheden en beperkingen productieproces
 - 2) sonar performance (test bij KM of TNO)
 - 3) enig inzicht in impactbestendigheid (test bij TNO)
- Fokker SP stelt voor om in eerste instantie vlakke platen te vervaardigen
- TNO ontwerpt een aantal verbindingen in sandwich en zal die aan Fokker SP voorleggen voor commentaar en een prijsschatting voor de productie.

Appendix D Verslag werkbezoek POLYMARIN

Bezoekverslag POLYMARIN Medemblik 28 oktober 1998

Project Advies Sonardome (A98KM127 - 82375215)

Deelnemers

Polymarin

Bart Roorda directeur Research
Roderick Schokker Sales engineer

Koninklijke Marine, DMKM

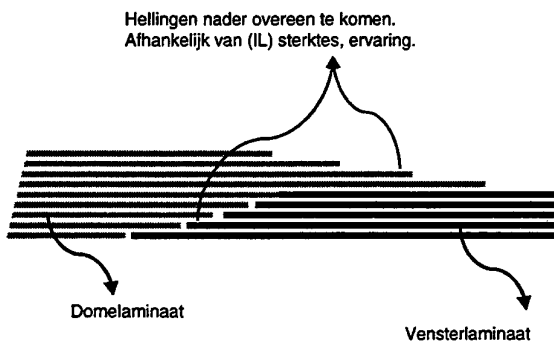
Ernst Westendorp
Geert Graafmans

TNO Centrum voor Mechanische Constructies

Gert-Jan Meijer (verslag)

Verloop besprekingen

- TNO heeft i.s.m. de KM een specificatie van eisen opgesteld voor proefplaten voor de toekomstige sonardome. Deze specificatie is 29 september 1998 verzonden aan Polymarin.
- De voorgestelde productiemethode was, mede naar aanleiding van eerdere gesprekken tussen de KM en Polymarin, toegespitst op hand lay-up en eventueel na-‘vacumeren’. Naar de mening van TNO geeft dit overigens noch akoestisch noch mechanisch de best haalbare kwaliteit van het venster.
- Onafhankelijk van de bedenkingen van TNO, stelt Polymarin nu voor *het venster te pre-preggen* en de rest van de dome er vervolgens omheen te lamineren m.b.v. hand lay-up. Polymarin verwacht geen problemen in het maken van een dubbelgekromd venster van 17 mm dik GRP op basis van pre-pregs. Het uitharden gebeurt onder vacuum bij lage temperatuur.
- Met deze optie wordt de ‘best of both worlds’ bereikt: een goede kwaliteit (i.e. praktisch void-vrij) vensterlaminaat en een kostentechnisch verantwoorde dome. De verbinding zou er bijvoorbeeld uit kunnen zien zoals hiernaast schematisch aangegeven.
- Aan de bovenkant van de dome kan (een deel van) het vensterlaminaat zonodig doorlopen tot de flens.
- De meerkosten van het gebruik van prepreg in het venster zijn voornamelijk een gevolg van hogere materiaalkosten: er worden



geen belangrijk hogere of lagere loonkosten verwacht.

- Polymarin heeft geen ervaring met de toepassing van rubber lagen maar wel met een 5 mm dikke polypropyleen laag. De (naar zeggen) uitstekende binding komt tot stand via een weefsel op de grenslaag van de thermoplast en de hars. Bij voorkeur wordt de thermoplast eerst in de mal gebracht. Daarna worden de prepreg of de lagen handlaminaat aangebracht. Met het achteraf aanbrengen van zo'n laag is geen ervaring.
- Polymarin is gevraagd een aanbieding te maken voor de tien proefplaten zoals in de tabel omschreven. Alle versterking bestaat uit uitsluitend glasweefsels. Het is denkbaar dat de prepregs niet beschikbaar zijn met alle drie genoemde harsen. In dat geval is nader overlegd nodig.
- In alle gevallen moet de *statistische toelaatbare rek van de harsen ca. 10%* zijn. Dat wil zeggen dat de vinylester 'rubbergemodificeerd' is. Dow Chemical Derakane 8084 is hiervan een voorbeeld.

Aantal en afmetingen	Materiaal	Opmerking
1 x A0 x 17 mm	Glas WR + Vinylester	Venster. Prepreg
1 x A0 x (17 mm + 5 mm)	Idem met rubber of PP laag	Idem
2 x A0 x 17 mm	Glas WR + Epoxy	Idem
2 x A0 x 17 mm	Glas WR + Polyester	Idem
1 x A0 x 32/17 mm	Glas WR + Vinylester	Verbinding. Prepreg (17 mm) gevolgd door handlamineren (32 mm)
1 x A0 x 32/17 mm	Glas WR + Epoxy	Idem

- Het volgende tijdschema is besproken en werd door Polymarin haalbaar geacht.

Aanbieding proefplaten	15 november 1998
Prijsindicatie sonardome	November 1998
Levering proefplaten	Dec'98/jan/feb'99
Beproeven proefplaten door TNO en MML	Jan/feb/maart'99
Engineering dome	April/mei/juni'99
Preparatie mal	April/mei/juni'99
Start productie	Juli'99
Oplevering eerste dome	Najaar 1999

Appendix E Besprekingsverslag beproevingen panelen

Sonardome

Date: 18-2-99

To: Ernst Westendorp, Geert Graafmans

Cc: Rob Fey, Ruud Kloek

From: Gert-Jan Meijer

RE: Bespreking 16-2-99

Afspraken

1. De volgende materiaalcombinaties worden beschouwd voor akoestische en impactproeven. (zie p.3)

Paneeltype	Aantal/afmetingen	Leverancier/herkomst
'Standaard' vinylester + 0/90/±45° ¹⁾ VARTM, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	Conyplex
Derakane 8084 + 0/90/±45° VARTM, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	
Epoxy/glas prepreg venster, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	Polymarin
Overgang prepreg venster naar handgelamineerde dome, 17/35 mm	1 paneel 1x1 m	
8084 ²⁾ + 0/90/±45° Hand lay-up, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	
Vinylester (?) + Glas/-Koolstof/CSM Hand-lay-up, 17 mm	1 bestaand paneel 2x2 m	Rijkswerf
8084 + 0/90° WR ca. 1200 g/m ² SCRIMP, 32 mm	1 bestaand paneel 1,2 x 1,2 m	Dycoss

¹⁾ Nader overleg indien weinig invloed wordt verwacht of lange levertijd/hoge kosten.

²⁾ Voorkeur. Indien minder geschikt voor hand lay-up dan nader overleg.

1. Van de series van drie panelen van 2x1 m worden twee doorgezaagd in twee grotere delen en een aantal kleinere strippen. De grote stukken worden beproefd op de valtafel. Het derde paneel wordt eerst akoestisch beproefd, vervolgens kunstmatig verouderd en daarna weer akoestisch beproefd. Tenslotte wordt dit paneel eveneens doorgezaagd en alsnog op de valtafel beproefd.
2. Aan de strippen worden materiaalproeven uitgevoerd. Dat betreft in ieder geval een vierpuntsbuigproef, een korte-overspanning buigproef voor de interlaminaire schuifsterkte en eventueel een trekproef in het vlak. Afhankelijk van de resultaten van de impactproef kunnen in een later stadium nog scheurgroei (initiatie) proeven worden uitgevoerd.
3. De onder punt 3 genoemde proeven worden eveneens uitgevoerd aan een overgang 17-35 mm ten einde de kwaliteit en sterkte van de venster/dome-interface te beoordelen.

4. Om te beginnen wordt op korte termijn een op schok beproefd Dycoss-paneel ontdaan van de verstijver en akoestisch beproefd. Hetzelfde paneel wordt daarna bij CMC op impact beproefd. De doelstelling van deze proeven is een vroegtijdig inzicht in de akoestische en mechanische eigenschappen van een typisch VARTM-paneel op basis van Derakane 8084 hars. Een zelfde procedure kan op korte termijn worden opgestart voor het paneel van de Rijkswerf.
5. Indien de akoestische proeven aan het dikke 32 mm Dycoss-laminaat onverwacht goede eigenschappen opleveren kan alsnog worden besloten het venster dikker uit te voeren dan de 17 mm die nu is gepland.
6. De impactproeven worden uitgevoerd met een hamer van minimaal ca. 50 kg en snelheden zo dicht mogelijk bij 10 m/s. In beginsel worden de proeven uitgevoerd in stappen van 0,5 kJ totdat de eerste schade zich aftekent. Vervolgens wordt paneel 1 tot (zeg) 8 kJ, paneel 2 tot 15 kJ, paneel 3 tot 25 kJ en paneel 4 tot 30 kJ belast. Daarmee ontstaat een statistisch verantwoord beeld in de 3 kJ range en tevens een goed inzicht in de hoge-energie-range. Het verouderde paneel krijgt een nader te bepalen eindwaarde.
7. Bij de KM (Bosman) wordt nagegaan of de knikberekening aan de bestaande dome gemakkelijk is te herhalen voor de geïnjecteerde domes (geen koolstof en CSM maar daarentegen hogere vezeldichtheid).
8. Op korte termijn zal nader van gedachten worden gewisseld met scheepsbouwers bij de KM over het ontwerp van de verstijfde bodem en het schot. Dit kan van invloed zijn op de vorm en de details van de huid van de dome.
9. CMC maakt een kosten- en tijdplanning van de impactproeven en de materiaalproeven.

G.J. Meijer

TNO-CMC

LATERE TABEL:

De volgende materiaalcombinaties worden beschouwd voor (deels) akoestische en impactproeven.

	Paneeltype	Aantal/afmetingen	Leverancier/herkomst
1	Derakane 8084 + 0/90 weefsel Ontluchte hars VARTM, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	Conyplex
2	Derakane 8084 + 0/90/45/-45 (tweede 0/90 weefsel geroteerd) Ontluchte hars VARTM, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	
3	'Standaard' vinylester + 0/90 weefsel Ontluchte hars VARTM, 17 mm	3 panelen 2x1 m	
4	als 1 met <i>niet</i> ontluchte hars	1 paneel 2x1 m	
5	als 2 met handgelamineerde verbinding halverwege	2 aan elkaar verbonden panelen van ieder 1x1 m	
6	als 5 met vacuümgeïnjekteerde i.p.v. handgelamineerde verbinding	2 aan elkaar verbonden panelen van ieder 1x1 m	
7	Epoxy/glas prepreg venster, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	Polymarin
8	Overgang prepreg venster naar handgelamineerde dome, 17/35 mm	1 paneel 1x1 m	
9	8084 ¹⁾ + 0/90/±45° Hand lay-up, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	
10	Vinylester (?) + Glas-/Koolstof/CSM Hand-lay-up, 17 mm	1 bestaand paneel 2x2 m	Rijkswerf
11	8084 + 0/90° WR ca. 1200 g/m ² SCRIMP, 32 mm	1 bestaand paneel 1,2 x 1,2 m	Dycoss

¹⁾ Voorkeur. Indien minder geschikt voor hand lay-up dan nader overleg.

Appendix F Aanbieding beproevingen panelen

Mechanische beproeving panelen Sonardome

1 Projectdetails

Indiener	TNO Bouw Centrum voor Mechanische Constructies (CMC) Postbus 49 2600 AA Delft Gebouw E, verdieping 4 Schoemakerstraat 97 2628 VK Delft
Budget	f 90.000
Projecttermijn	1999
Projectbegeleider KM	Ir. F.P.E. Westendorp
Projectleider TNO	Ir. G.J. Meijer

2 Inleiding

Sinds 1997 heeft een aantal activiteiten plaatsgevonden die er op gericht zijn een verbeterde versie van een composiet sonardome te ontwikkelen voor de LC-fregatten. Deze domes kunnen dan tevens in de toekomst die van de M-fregatten vervangen. Deze activiteiten hebben onder meer geleid tot een tweetal specificaties van de impacteisen.

- De dome mag onder invloed van een loodrechte botsing met een bolvormig lichaam met een straal van 200 mm en een energie van 3 kilojoule niet beschadigd raken, althans niet zodanig dat de gespecificeerde maximale akoestische demping wordt overschreden. Gezien de snelheid van het schip moet de botsing bij voorkeur bij 10 m/s plaatsvinden. Het lichaam heeft dan een massa van 60 kg.
- De dome moet bij een botsing van 30 kilojoule (600 kg bij 10 m/s) bij voorkeur nog in staat zijn de sonar te beschermen tegen beschadiging. Daarbij fungeert de dome dus nog op z'n minst als opvangnet.

In dit project zal een aantal verschillende panelen worden beproefd onder de beschreven condities. Tevens zullen aanvullende materiaalproeven worden uitgevoerd.

In totaal zullen 45 panelen worden beproefd.

3 Doelstelling

Het beproeven van een aantal verschillende paneelconcepten op onder meer impact. De resultaten zullen mede bepalend zijn voor de uiteindelijke keuze van de constructieve uitvoering, materiaaldetails, productiemethode en fabrikant van de dome.

4 Omvang van de werkzaamheden

In onderstaande tabel zijn de verschillende panelen en de geplande beproevingen aangegeven. De akoestische proeven worden door de KM zelf uitgevoerd.

	Paneeltype	Aantal/ afmetingen	Leverancier/ herkomst	Actie
1	Derakane 8084 + 0/90 weefsel Ontluchte hars VARTM, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	Conyplex	Eén paneel akoestisch beproeven, verouderen, weer akoestisch beproeven, opzagen en op impact beproeven. Twee overige panelen opzagen en op impact beproeven. Beperkt materiaalproeven op reststukken
2	Derakane 8084 + 0/90/45/-45 (tweede 0/90 weefsel geroteerd) Ontluchte hars VARTM, 17 mm	3 panelen à 2x1 m		als 1
3	'Standaard' vinylester + 0/90 weefsel Ontluchte hars VARTM, 17 mm	3 panelen à 2x1 m		als 1
4	als 1 met <i>niet</i> ontluchte hars	1 paneel 2x1 m		Akoestisch beproeven, daarna opzagen en op impact beproeven.
5	als 2 met handgelamineerde verbinding halverwege	2 aan elkaar verbonden panelen van ieder 1x1 m		als 4, zodanig verzagen dat verbinding op impact wordt beproefd
6	als 5 met vacuümgeïnjekteerde i.p.v. hand-gelamineerde verbinding	2 aan elkaar verbonden panelen van ieder 1x1 m		als 5
7	Epoxy/glas prepreg venster, 17 mm	3 panelen à 2x1 m	Polymarin	als 1
8	Overgang prepreg venster naar handgelamineerde dome, 17/35 mm	1 paneel 1x1 m		Op impact beproeven. Materiaalproeven op reststukken
9	8084 + 0/90/±45° Hand lay-up, 17 mm	3 panelen à 2x1 m		als 1
10	Vinylester (?) + Glas/-Koolstof/CSM Hand-lay-up, 17 mm	1 bestaand paneel 2x2 m	Rijkswerf	In twee stukken van 2x1 m zagen, daarna als 1
11	8084 + 0/90° WR ca. 1200 g/m ² SCRIMP, 32 mm	1 bestaand paneel 1,2 x 1,2 m	Dycoss	Beperkte akoestische beproeving (relatief kleine afmetingen) gevolgd door impactbeproeving

In totaal worden 45 panelen van elk 90x90 cm op impact beproefd.

5 Activiteiten

5.1 Impactproeven

Activiteit	kosten [kf]
Fabricage valmassa's en paneelopleggingen	13
Instrumentatie (snelheid, kracht)	2
Impactbeproevingen, administreren, foto's etc.	30
Besprekingen, begeleiding	8
Rapportage	7
Onvoorzien	10
Totaal impactproeven	70

De panelen worden in opdracht van de Koninklijke Marine geleverd door externe fabrikanten en de Rijkswerf (zie tabel in hoofdstuk 4). TNO stelt het Dycoss-paneel ter beschikking. Het verzagen van de panelen tot nader overeen te komen afmetingen gebeurt, evenals de aan- en afvoer van de panelen door de leverancier of door de Rijkswerf.

5.2 Materiaalproeven

Voor zover zinvol worden van elk van de series 1 t/m 11 alsook voor de verouderde proefstukken treksterktes, buigsterktes en interlaminaire schuifsterktes bepaald met standaard ISO proeven. Eventueel worden ook scheurgroei(initiatie) proeven uitgevoerd. De beoordeling of en in hoeverre deze proeven zinvol zijn volgt na de impactproeven. De uitvoering van de proeven vindt plaats bij TNO-Industrie.

Vooralsnog wordt voorgesteld hiervoor een post van 20 kf te reserveren.

5.3 Totaal begrootte kosten

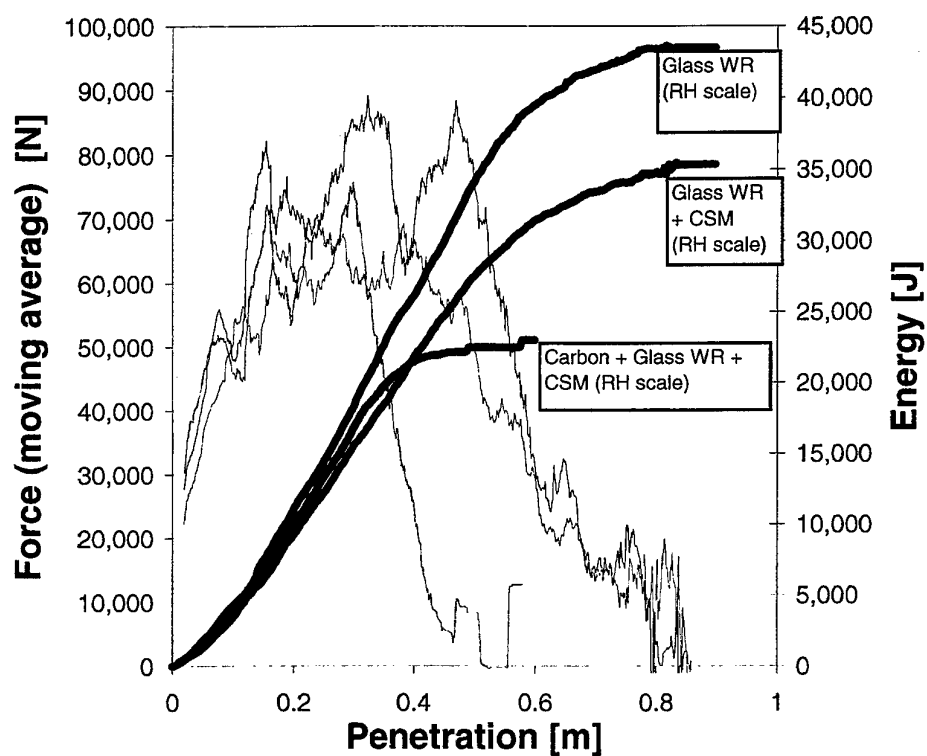
In totaal worden voor de impactproeven en de materiaalproeven 90 kf begroot.

6 Tijdplanning

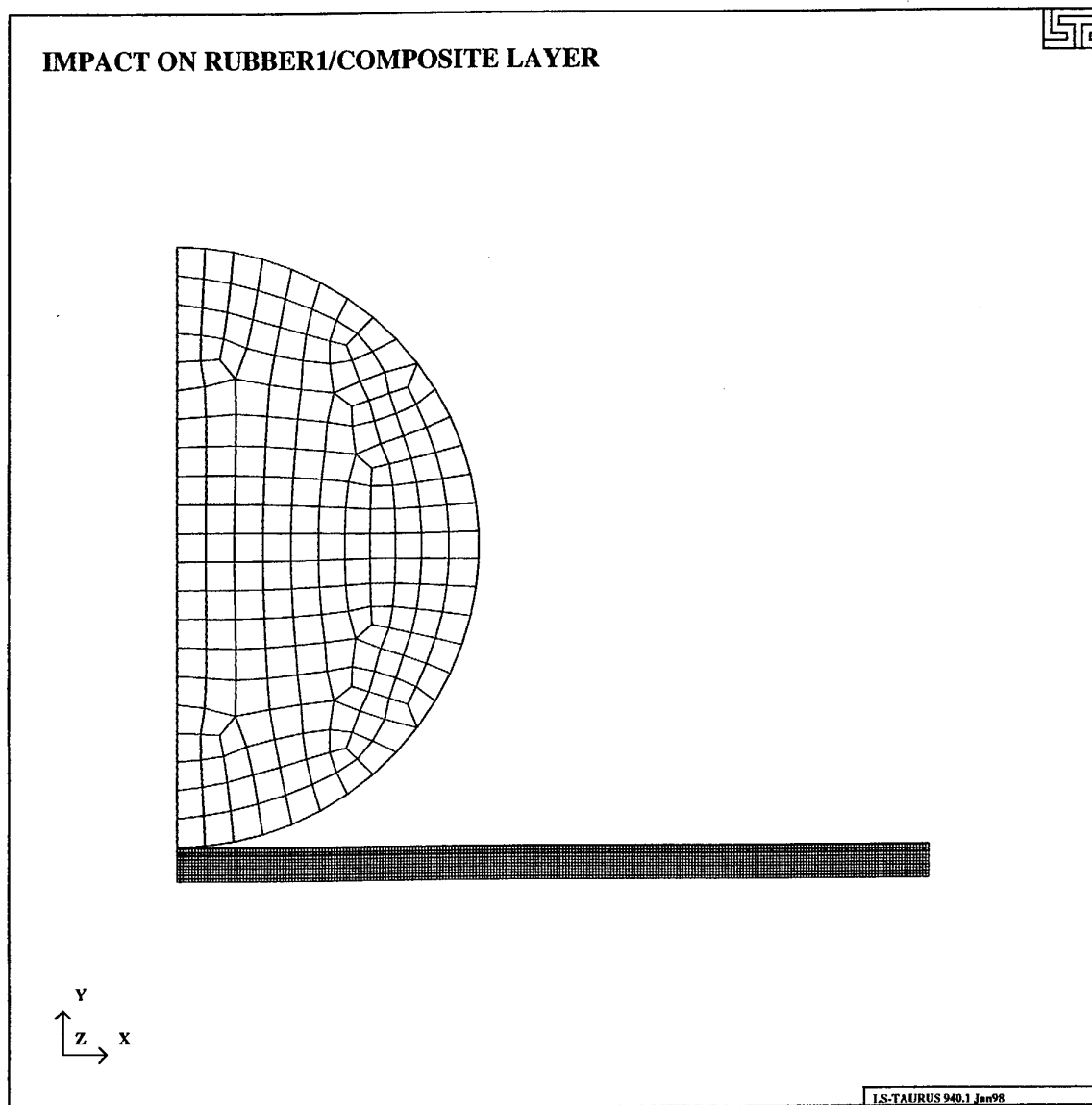
De proeven aan de panelen 10 en 11 kunnen in maart 1999 worden uitgevoerd. De overige panelen komen naar verwachting niet voor eind april beschikbaar. De resterende proeven kunnen dan in mei worden uitgevoerd. De materiaalproeven worden in mei/juni uitgevoerd.

Figuren

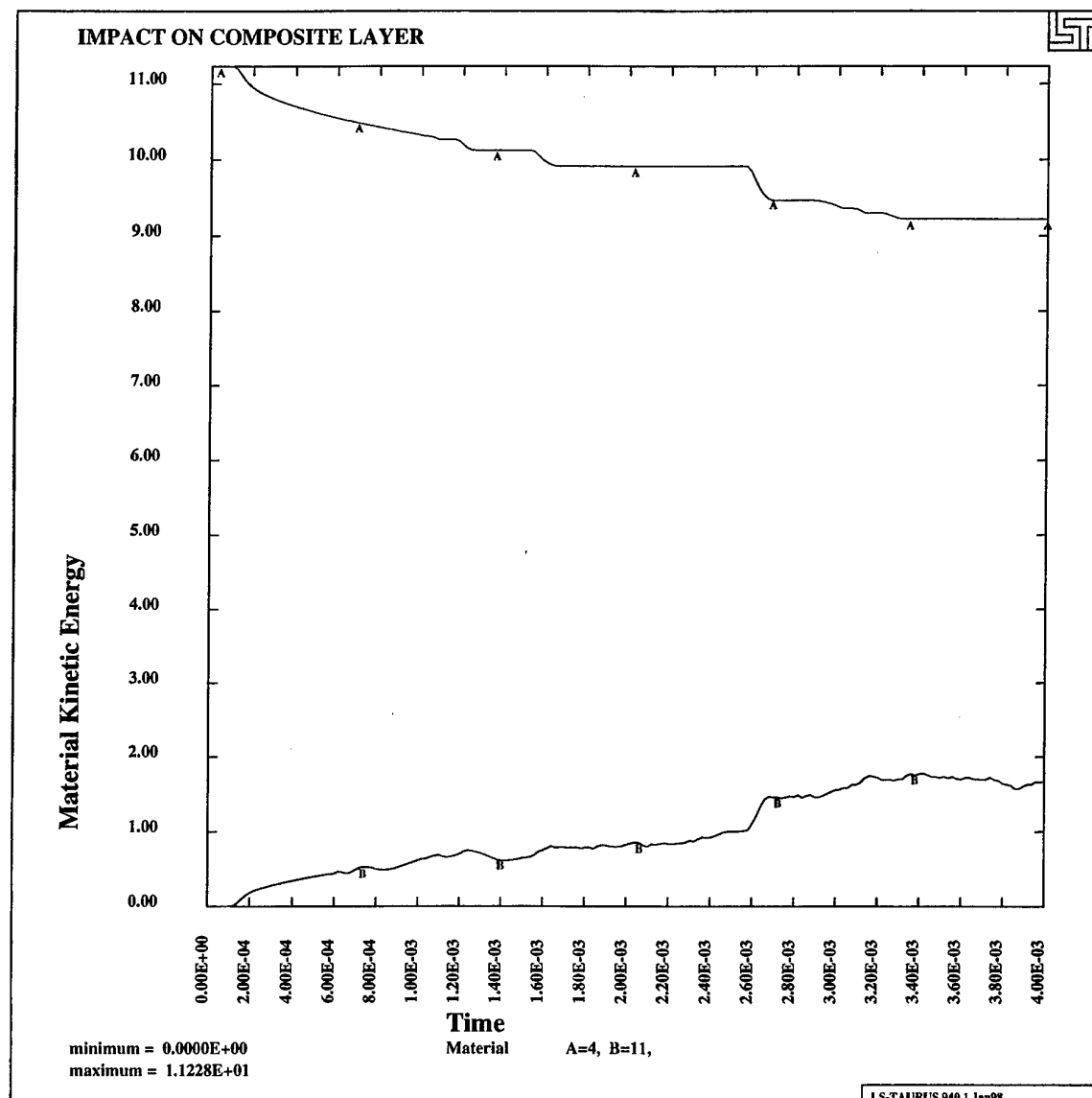
Dome Impact



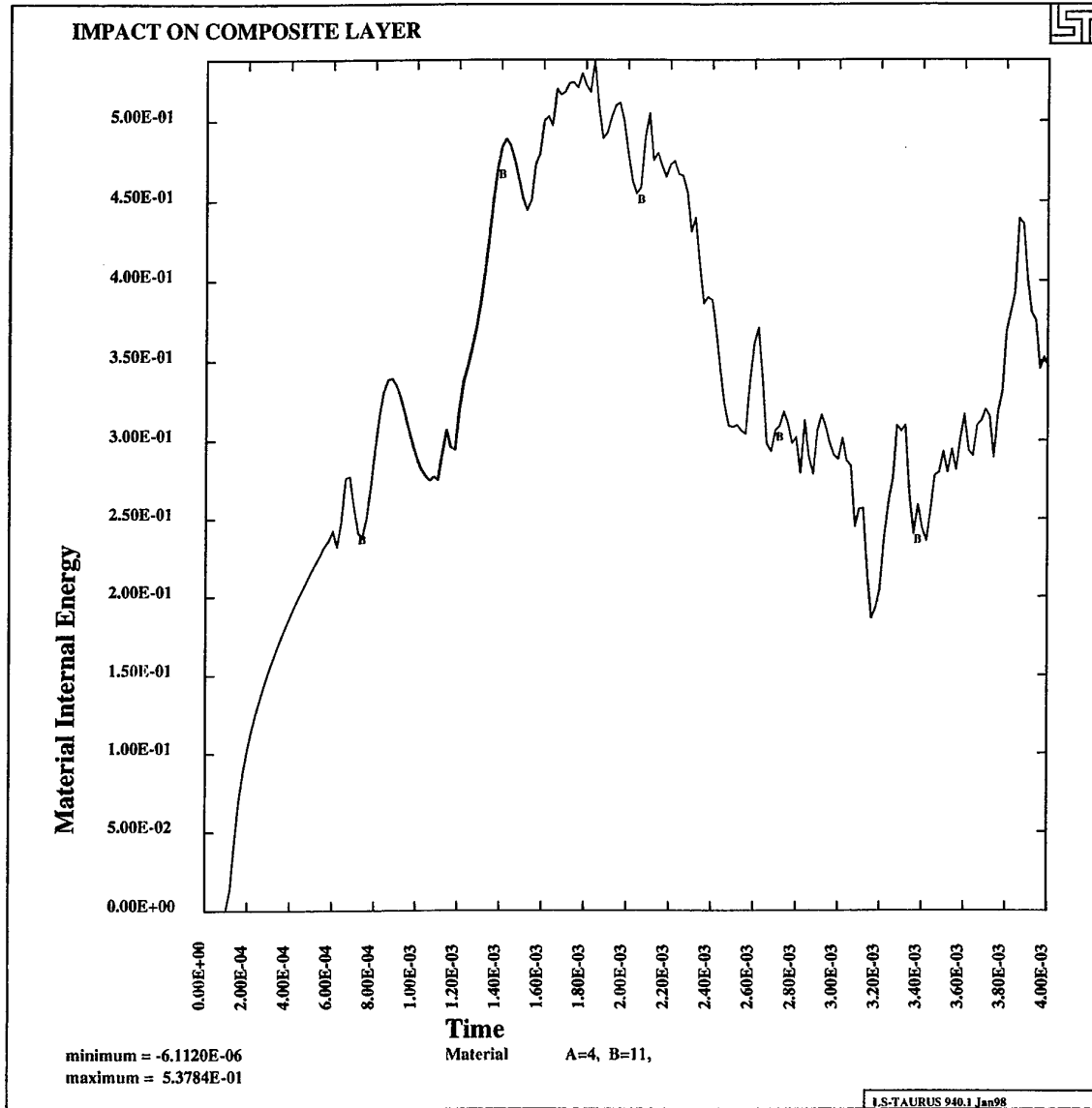
Figuur 1 Externe energie [J] en contactkracht [N] als functie van de indringing [m] voor drie vensterlaminaten



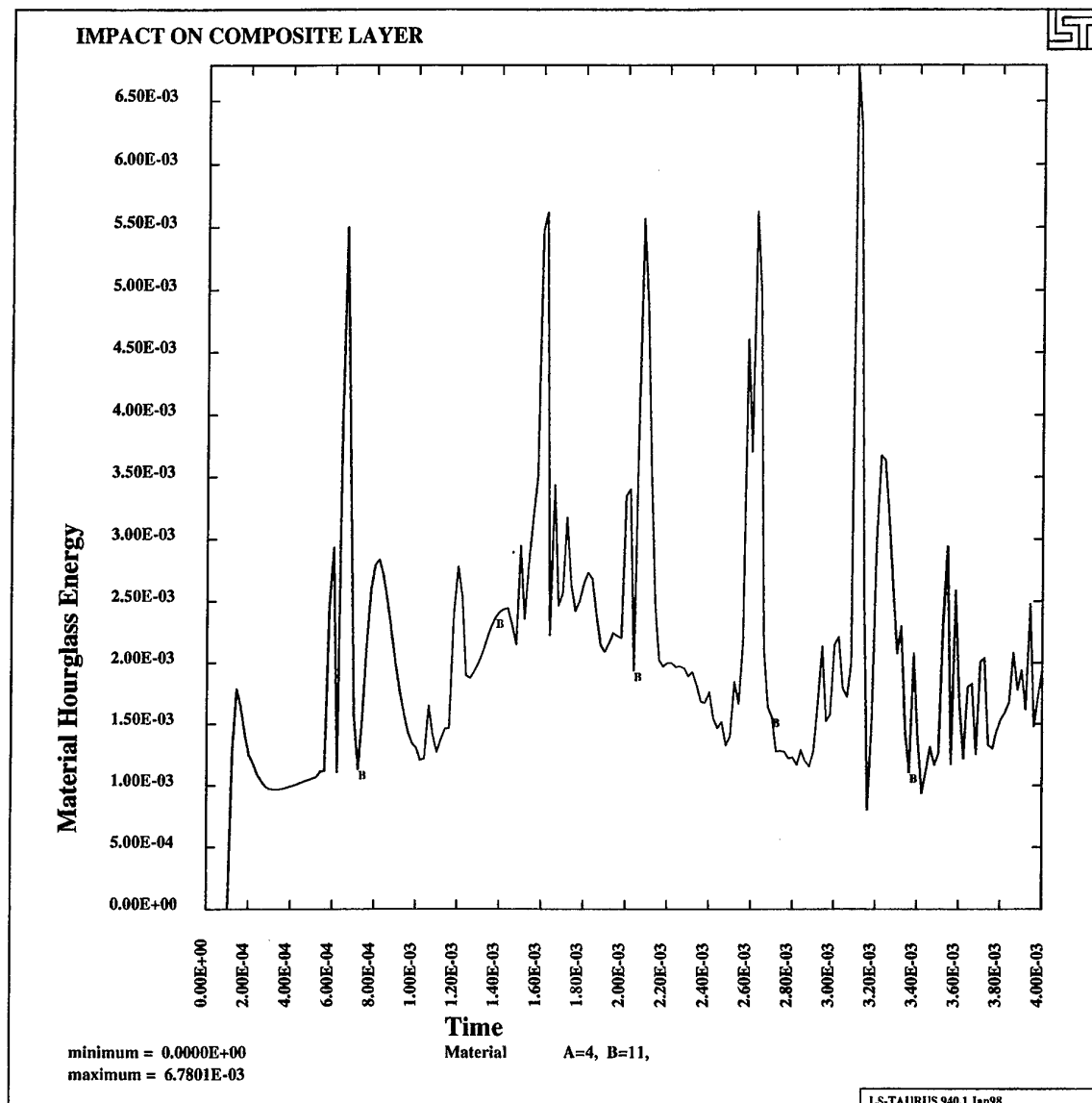
Figuur 2 Beginsituatie voor impact op een E-glas woven roving paneel (dikte 17 mm) aan de bovenzijde bekleed met een laag natuurrubber (dikte 5 mm)



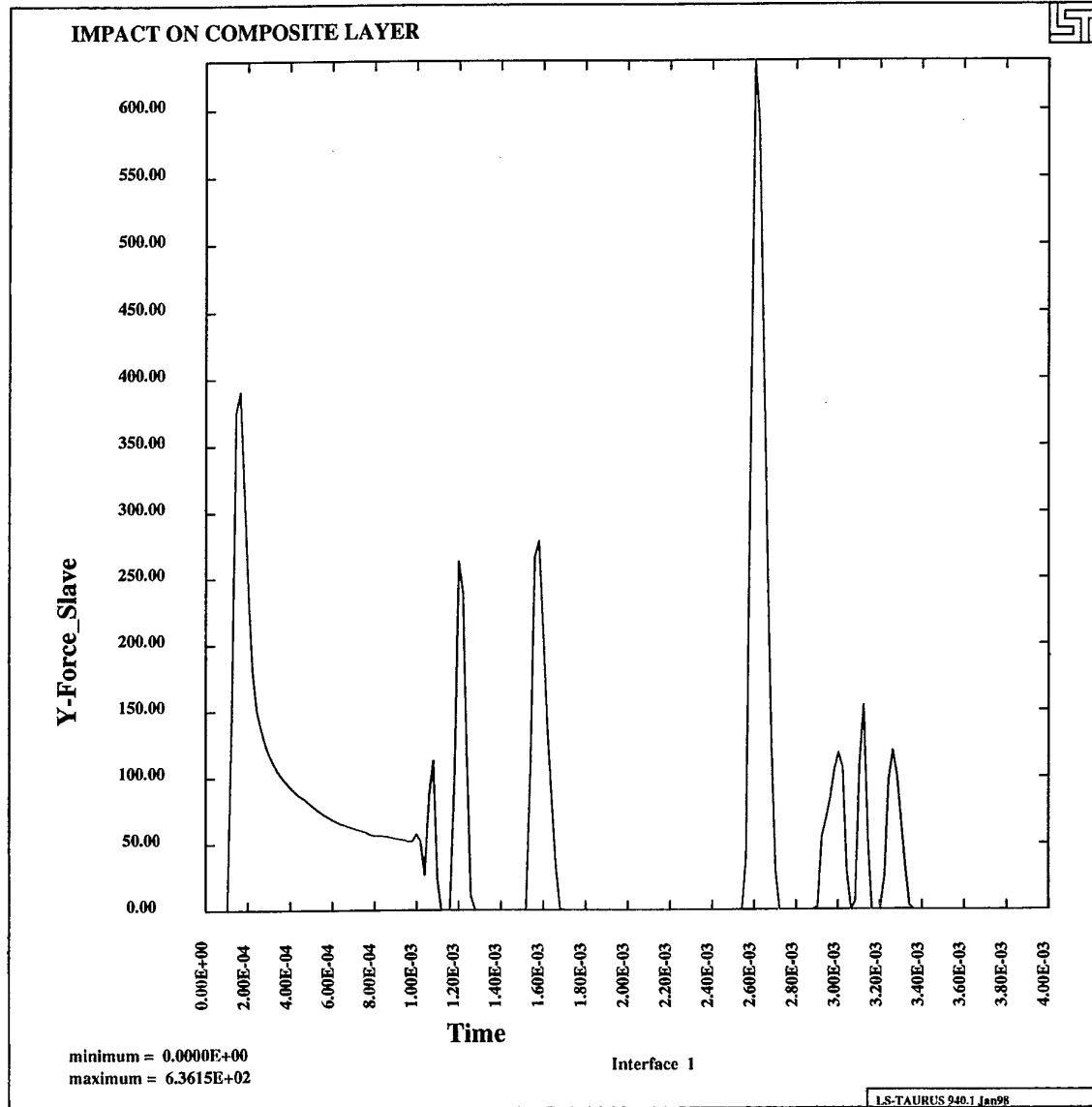
Figuur 3 De kinetische energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving lami-naat (dikte 17 mm)



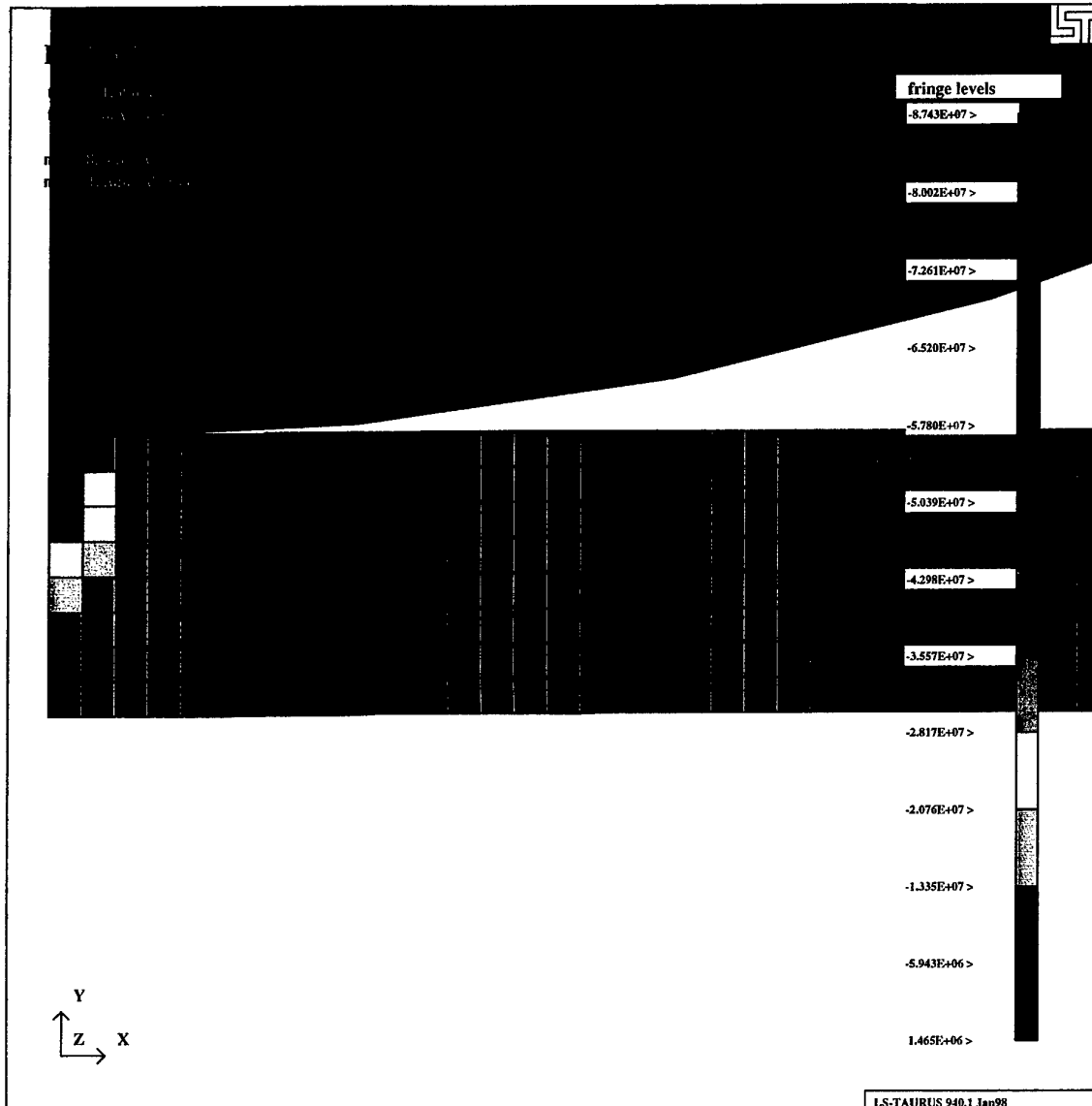
Figuur 4 De interne energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm)



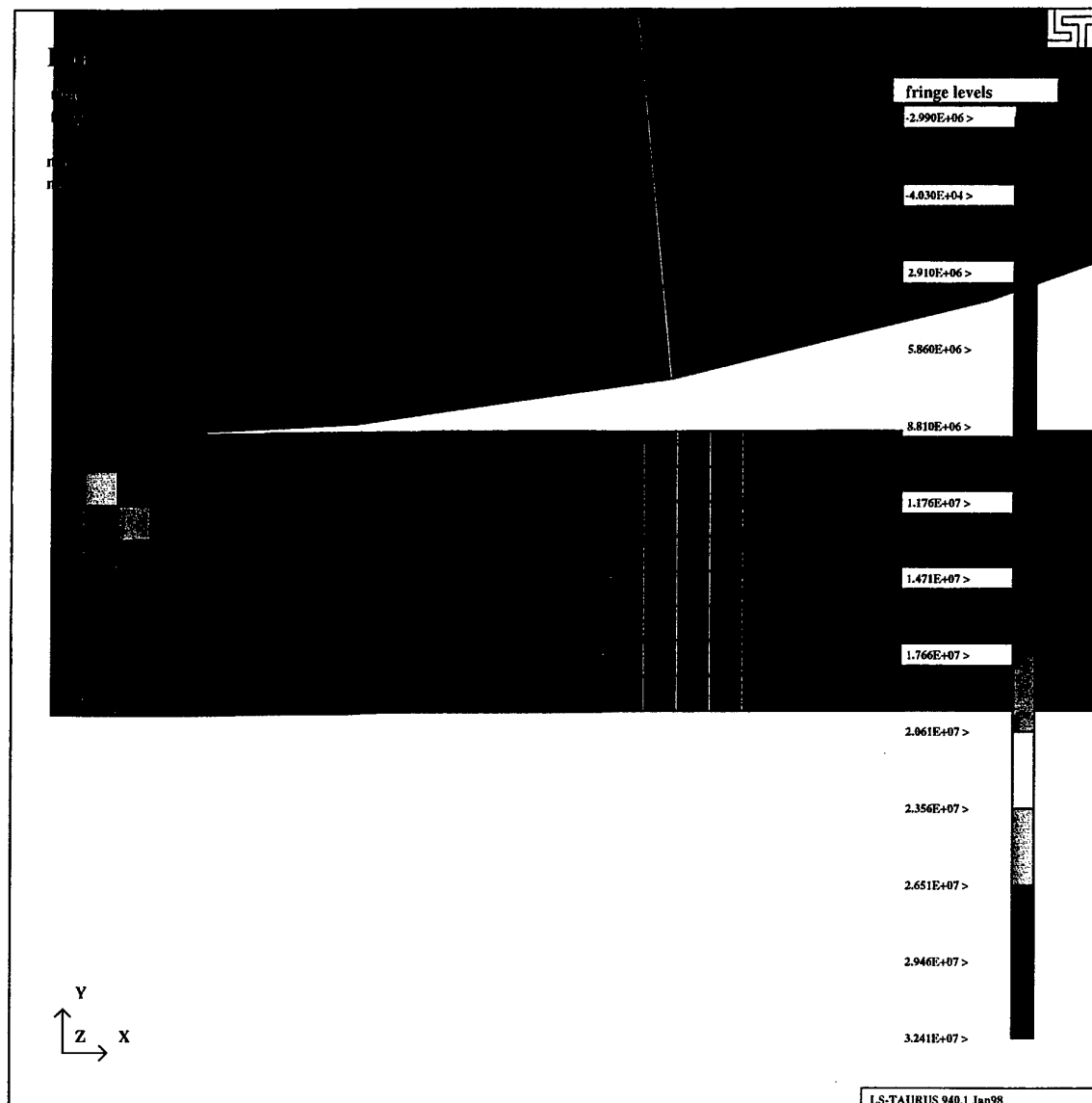
Figuur 5 De hourglass energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving lami-naat (dikte 17 mm)



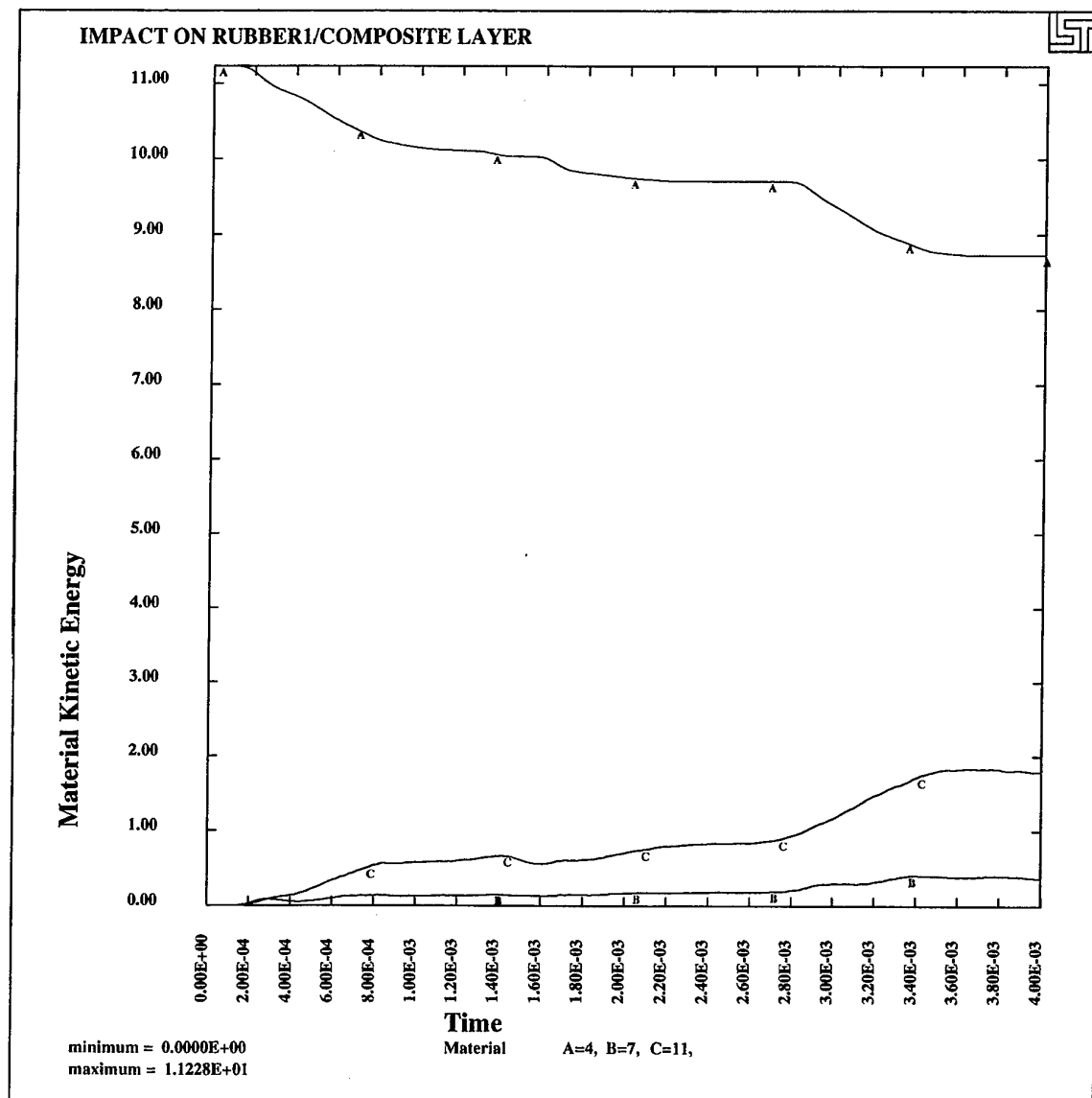
Figuur 6 De contactkracht in Y-richting als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm)



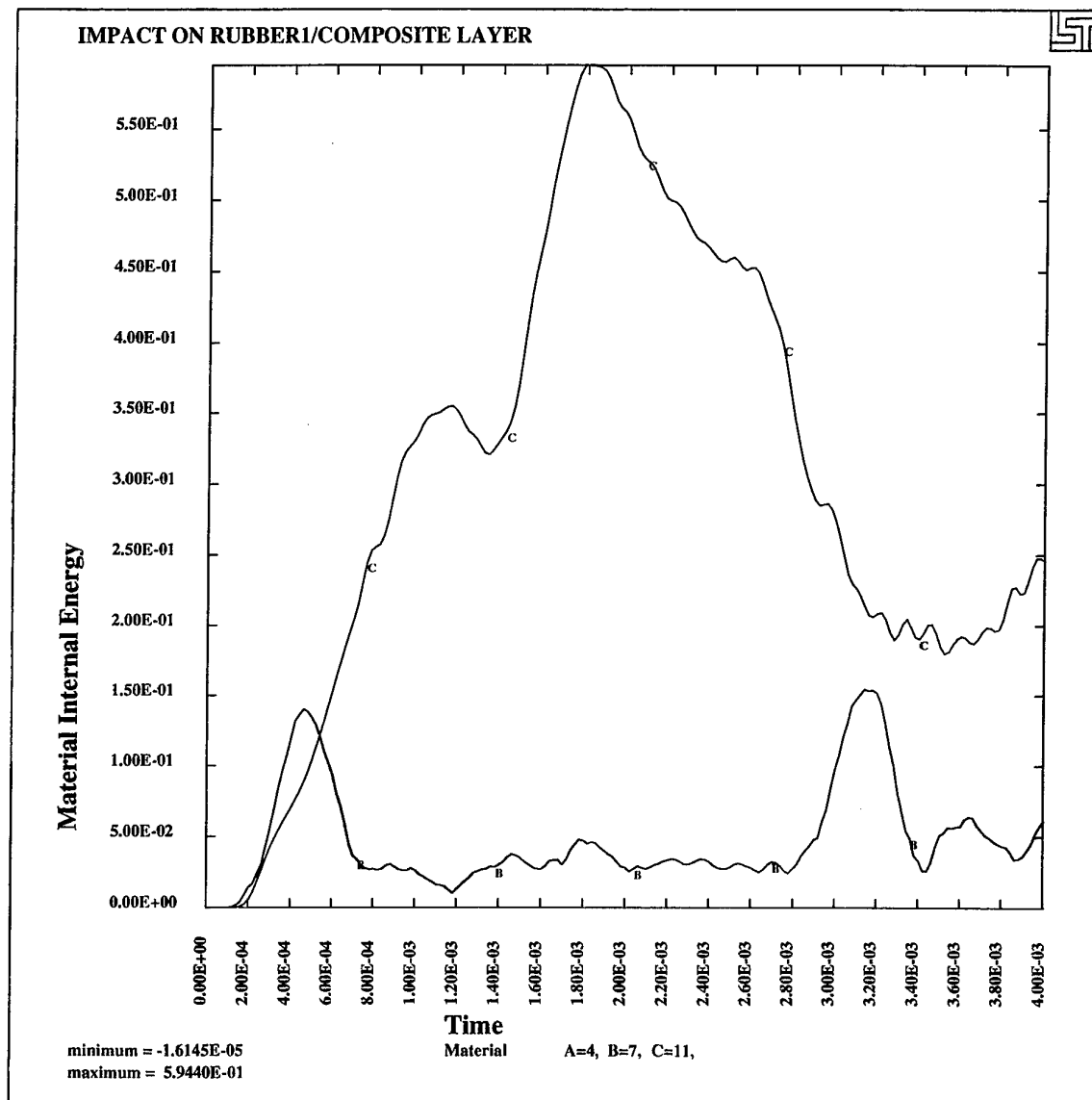
Figuur 7 σ_{yy} op $t=1.39656 \cdot 10^{-4}$ s voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm)



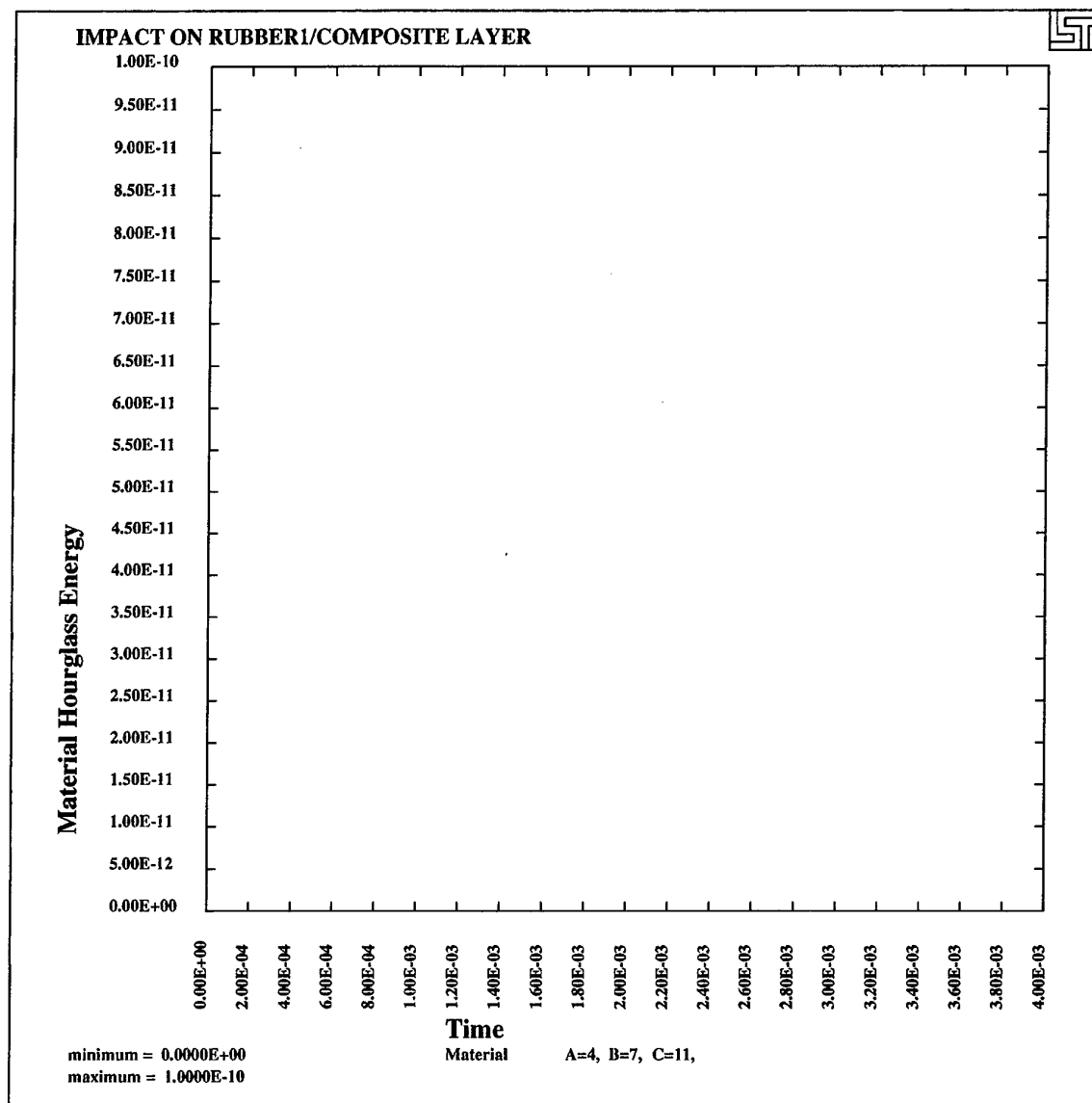
Figuur 8 σ_{xy} op $t=1.39656 \cdot 10^{-4}$ s voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm)



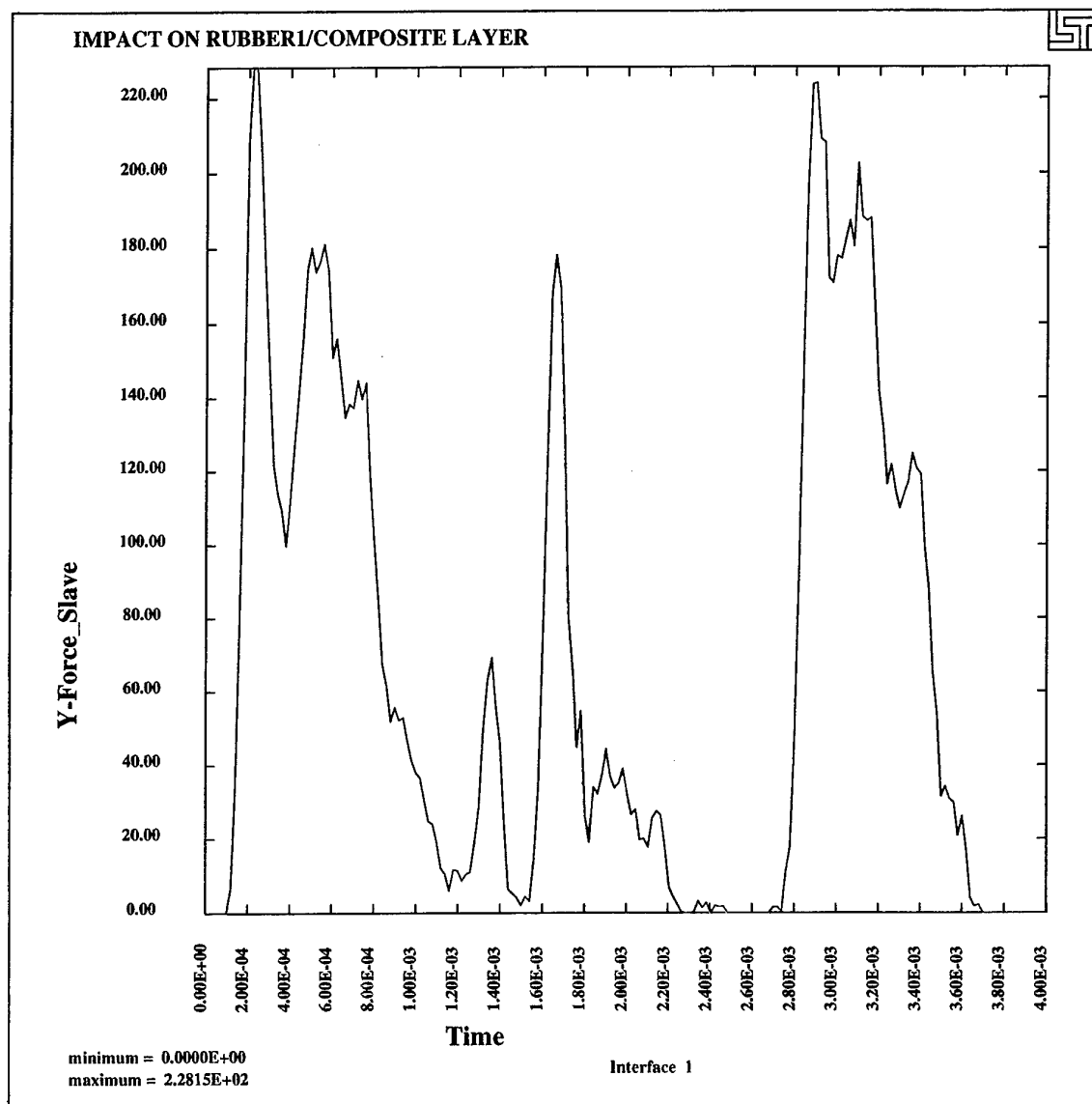
Figuur 9 De kinetische energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving lami-naat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 1, dikte 5 mm)



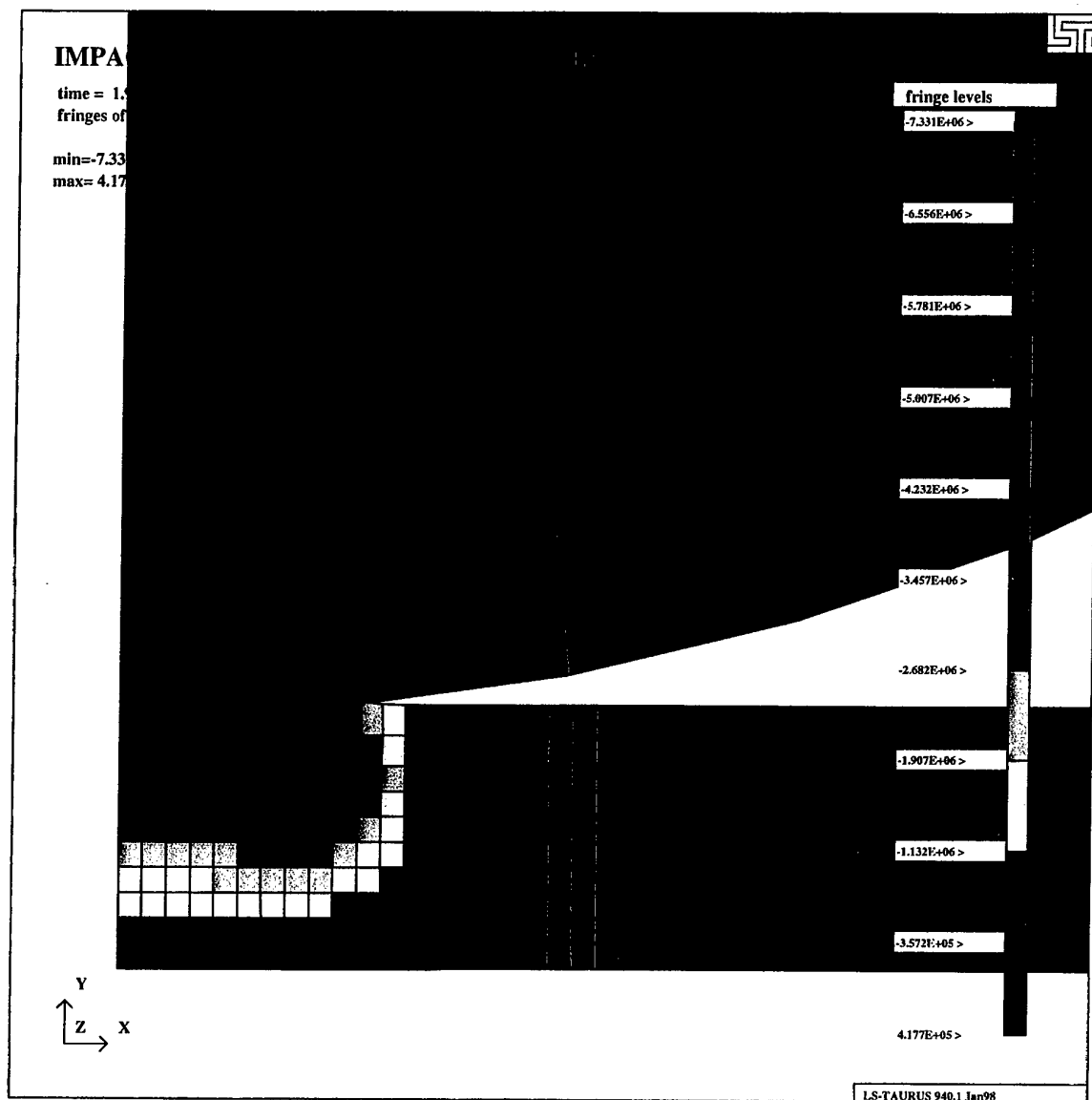
Figuur 10 De interne energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 1, dikte 5 mm)



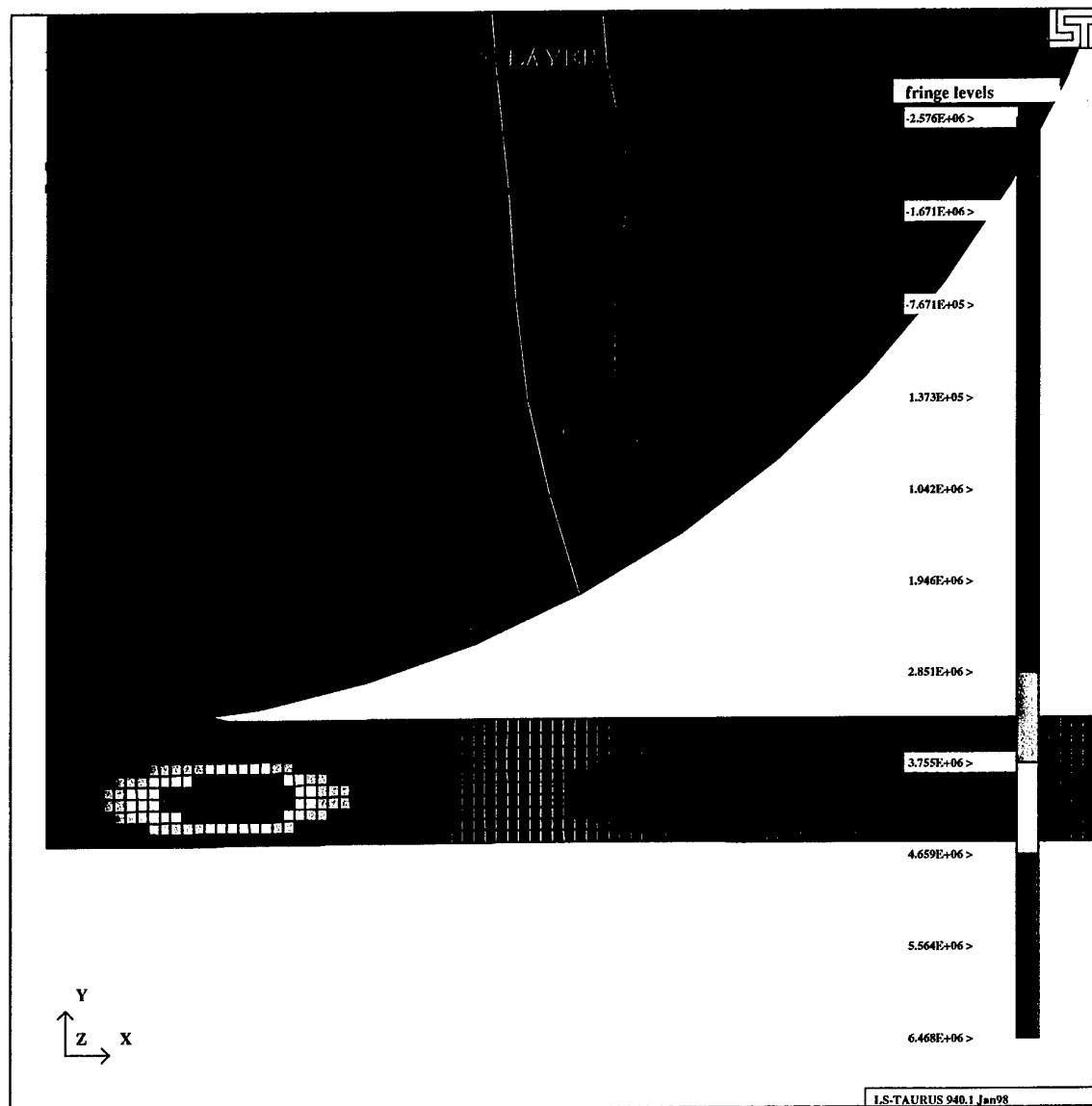
Figuur 11 De hourglass energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving lami-naat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 1, dikte 5 mm)



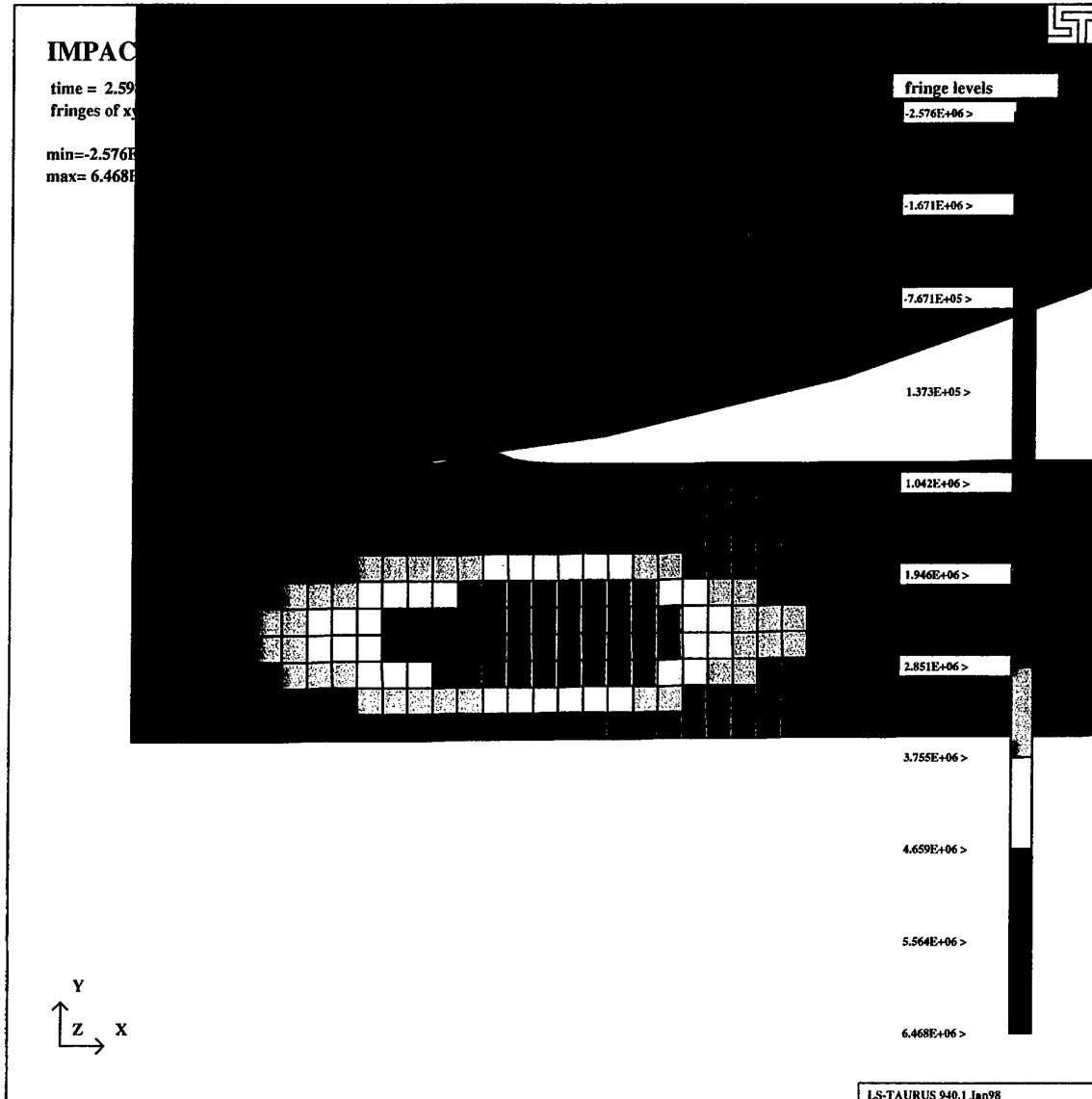
Figuur 12 De contactkracht in Y-richting als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 1, dikte 5 mm)



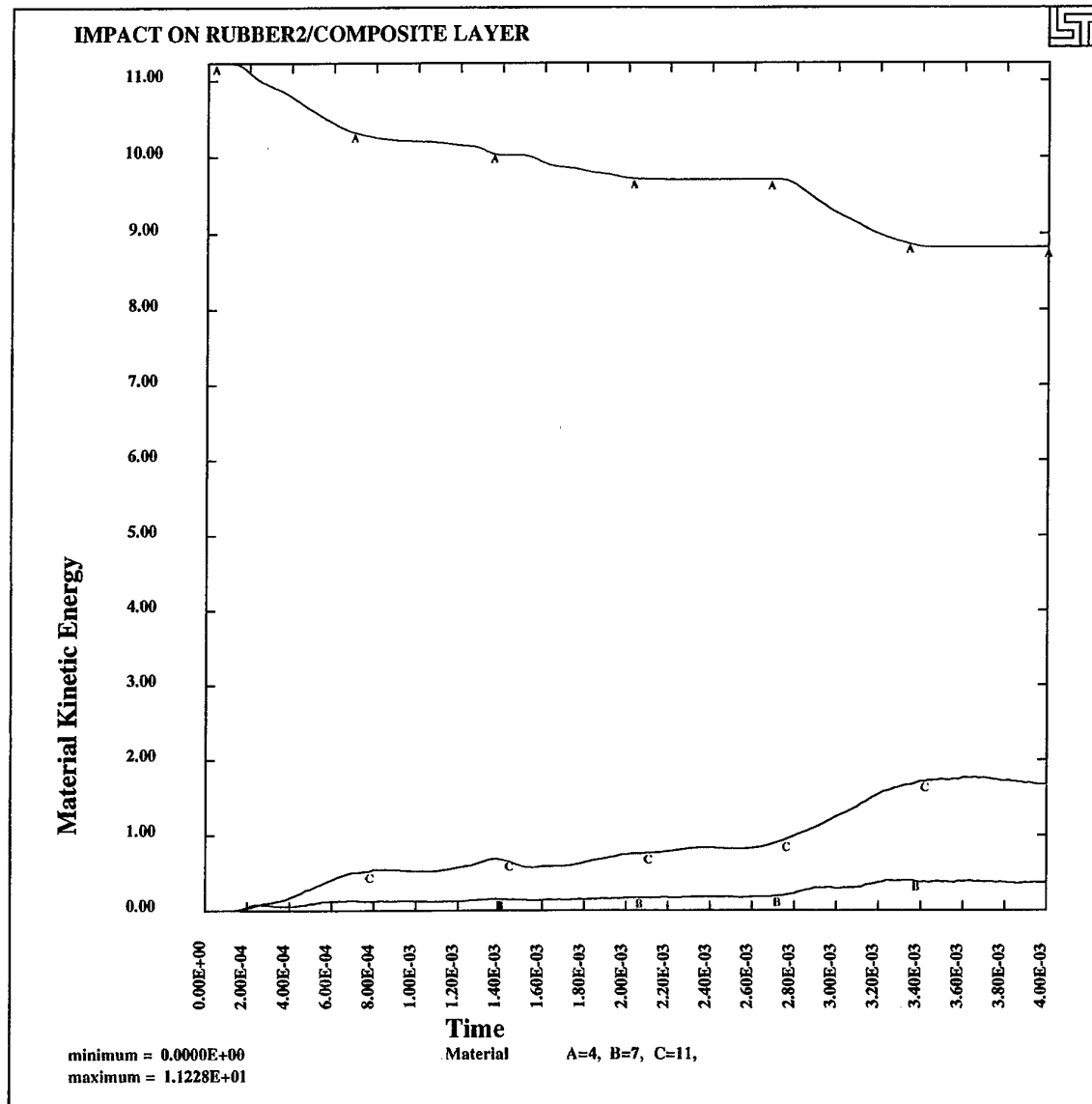
Figuur 13 σ_{yy} op $t=1.99590 \cdot 10^{-4}$ s voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 1, dikte 5 mm)



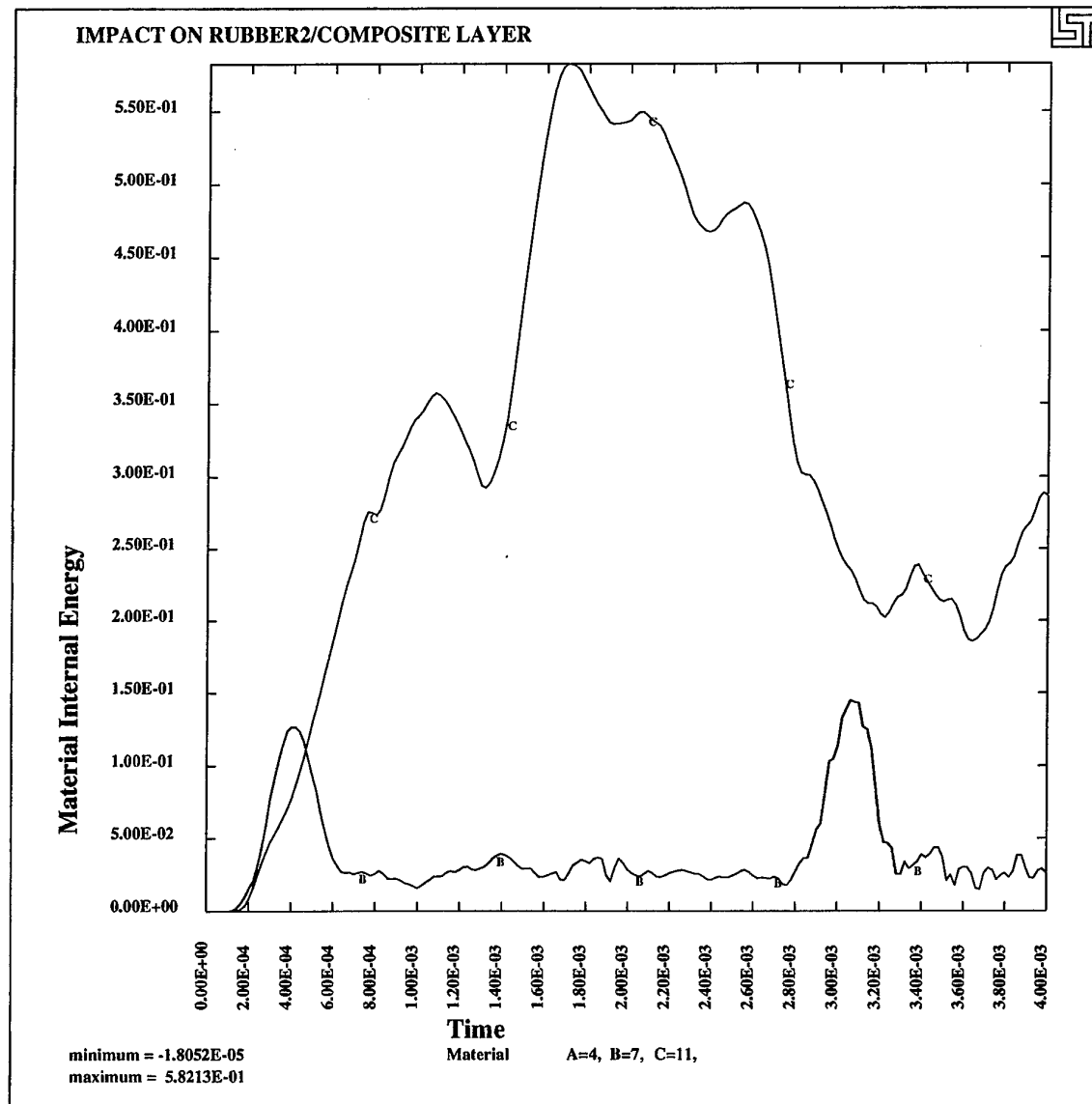
Figuur 14 σ_{yy} op $t=1.99590 \cdot 10^{-4}$ s (detail) voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 1, dikte 5 mm)



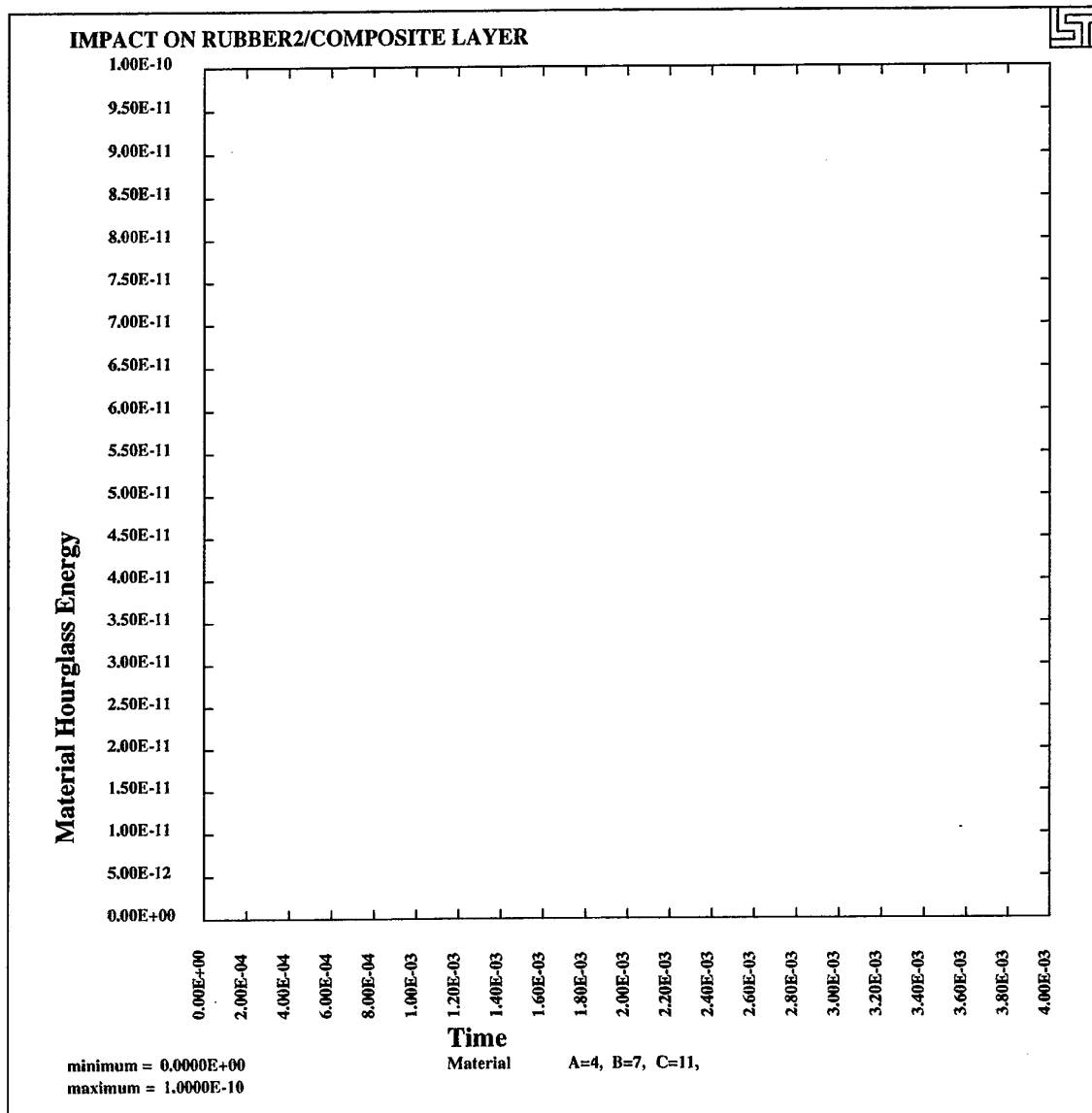
Figuur 15 σ_{xy} op $t=2.59881 \cdot 10^{-4}$ s voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 1, dikte 5 mm)



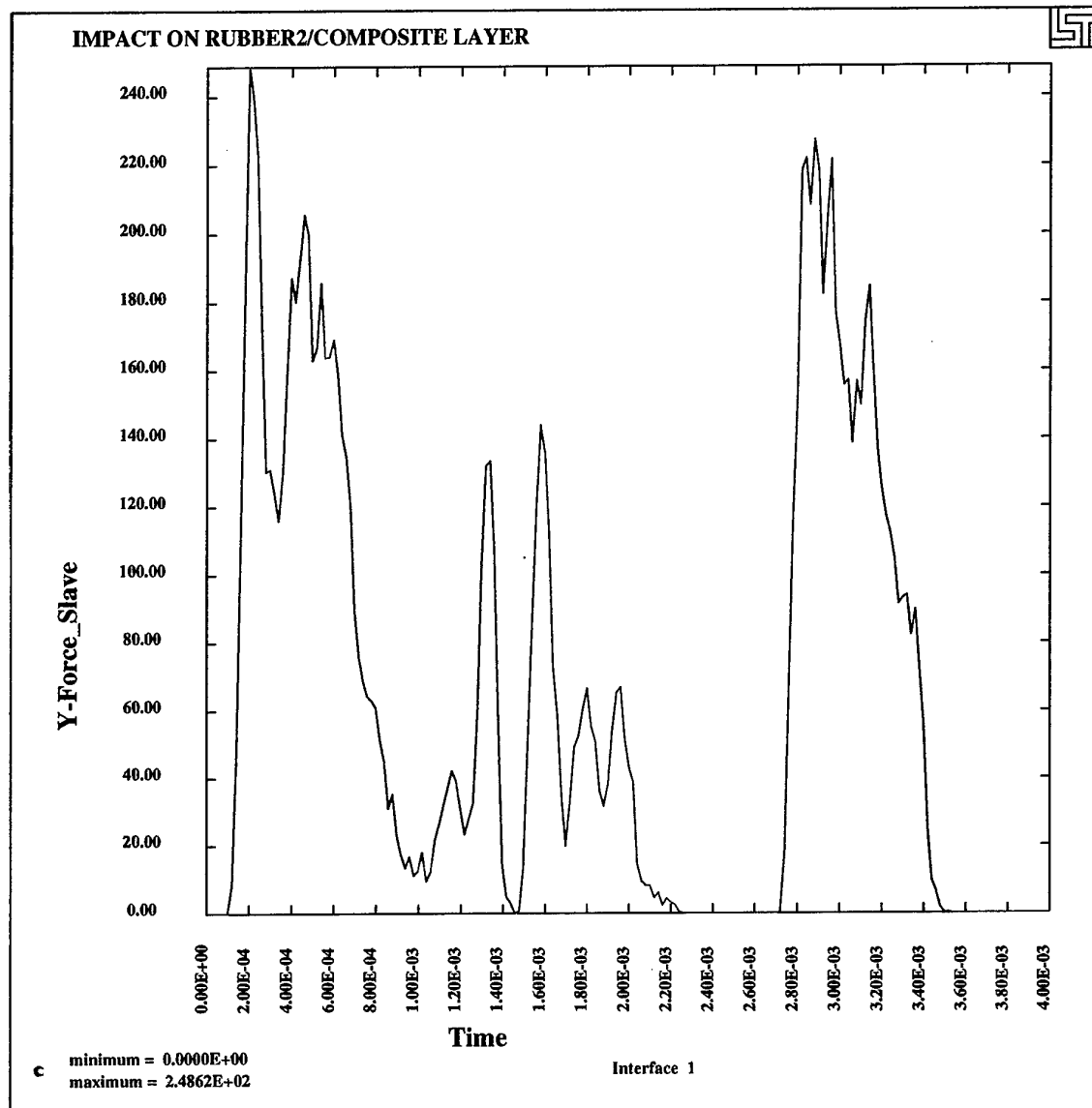
Figuur 16 De kinetische energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving lami-naat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 2, dikte 5 mm)



Figuur 17 De interne energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 2, dikte 5 mm)



Figuur 18 De hourglass energie als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving lami-naat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 2, dikte 5 mm)



Figuur 19 De contactkracht in Y-richting als functie van de tijd voor de impact op een E-glas woven roving laminaat (dikte 17 mm) bekleed met een laag natuurrubber (type 2, dikte 5 mm)

ONGERUBRICEERD
Unclassified

REPORT DOCUMENTATION PAGE			
1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD 99 - 0090	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER 99-CMC-R0011	
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 006.93121/01.01	5. CONTRACT NUMBER A98/KM/127	6. REPORT DATE July 6, 1999	
7. NUMBER OF PAGES 70 (incl. Figures, excl. RDP & distributionlist)	8. NUMBER OF REFERENCES 7	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final	
10. TITLE AND SUBTITLE New concepts for an impact resistant sonardome			
11. AUTHOR(S) dr.ir. R.H.B. Fey ir. G.J. Meijer			
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) Centre for Mechanical Engineering Schoemakerstraat 97 2628 VK DELFT, The Netherlands			
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESSES(S) Sponsor: Netherlands Ministry of Defence Monitoring agency: TNO Defence Research, Schoemakerstraat 97, 2628 VK DELFT, The Netherlands			
14. SUPPLEMENTARY NOTES The Centre for Mechanical Engineering is part of TNO Building and Construction Research			
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTES) The most promising short-term concept for a new impact resistant sonardome resulting from a brainstorm session, is the modification of the existing composite dome. Replacement of the carbon layers by E-glass woven roaming layers increases the impact capacity from 22 kJ (penetration depth 0,45m) tot 35 kJ (penetration depth 0,8m). Application of a rubber layer on top of the dome will increase the maintenance of acoustical properties/ requirements in case of low impacts.			
16. DESCRIPTORS Finite element methods			IDENTIFIERS Sonar dome Impact energy Contact force
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) ONGERUBRICEERD Unclassified	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) ONGERUBRICEERD Unclassified	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) ONGERUBRICEERD Unclassified	
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability, requests shall be referred to sponsor		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) ONGERUBRICEERD Unclassified	

ONGERUBRICEERD
Unclassified

Distributionlist of Report 99/CMC/R0011

Institute: TNO Building and Construction Research, Centre for Mechanical Engineering

Project: A98/KM/127

Number of copies:

DWOO	1
HWO-Centrale Organisatie	(A)
HWO-KM	1
HWO-KL	(A)
HWO-Klu	(A)
DM&P TNO-DO	1
DMKM, afd. Maritieme Techniek; ir. A. van der Made	4
DMKM, afd. Maritieme Techniek; sectie Documentatie	1
TNO – Centrum voor Mechanische Constructies	6
Bibliotheek KMA	3

(A) = Abstract only